



Научно-технический
журнал по вопросам
разработки и
производства
инновационной
продукции

Лицензионный договор
№ 285-1/2021 (НЭБ)

Журнал выходит
2 раза в год

Электронная версия
доступна по адресу
nos.goz.ru/magazine

Адрес редакции:
192012,
г. Санкт-Петербург,
вн. тер. г.
муниципальный округ
Рыбацкое,
проспект Обуховской
Обороны, д. 120

E-mail: nos.rnv@goz.ru
Телефон:
8 (812) 207-56-20

РАДИОНАВИГАЦИЯ
И ВРЕМЯ: ТРУДЫ СЗРЦ КОНЦЕРНА
ВКО «АЛМАЗ – АНТЕЙ»
№ 11 (19) – 2023

АО «РИРВ»,
АО «Обуховский завод»

Редакционный совет:

Подвязников Михаил Львович, д.т.н., доц.
Волокитина Ирина Николаевна, к.э.н.
Долбенков Владимир Григорьевич, к.т.н.
Брагин Алексей Юрьевич, к.э.н.
Король Виктор Михайлович, к.т.н.

Главный редактор

Баушев Сергей Валентинович, д.в.н., проф.

Заместитель главного редактора

Сайбель Алексей Геннадиевич, д.т.н., доц.

Редакционная коллегия:

Безлепкин Николай Иванович, д.ф.н., проф.
Гаврилов Роман Сергеевич, к.т.н.
Геворкян Арвид Грайрович, д.т.н., проф.
Завгородний Александр Федорович, д.и.н., проф.
Зозуля Виктор Михайлович, к.т.н.
Королев Андрей Валерьевич, к.т.н.
Марченко Борис Иванович, д.т.н., проф.
Панфилов Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.
Петухов Сергей Геннадьевич, д.т.н.
Романюк Денис Андреевич, к.ф.-м.н.
Синицын Евгений Александрович, д.т.н., проф.
Фридман Леонид Борисович, д.т.н.
Шатраков Юрий Григорьевич, д.т.н., проф.
Щеглов Дмитрий Константинович, к.т.н.

Санкт-Петербург

РАДИОНАВИГАЦИЯ И ВРЕМЯ: ТРУДЫ СЗРЦ КОНЦЕРНА ВКО «АЛМАЗ – АНТЕЙ» №11 (19) – 2023: ТРУДЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ЦЕНТРА КОНЦЕРНА ВКО «АЛМАЗ – АНТЕЙ». – СПб.: Балтийская печать, 2023. – 148 с. – ил.

Научно-технический журнал **РАДИОНАВИГАЦИЯ И ВРЕМЯ: ТРУДЫ СЗРЦ КОНЦЕРНА ВКО «АЛМАЗ – АНТЕЙ»** публикует результаты научных исследований, разработки и производства инновационной продукции в областях организации производства, вооружения и военной техники, радиофизики, организации воздушного движения, радионавигации, радиолокации.

К участию приглашаются сотрудники предприятий оборонного промышленного комплекса, научных и образовательных учреждений Российской Федерации.

Мнение редакции может не совпадать с точкой зрения авторов. Ответственность за достоверность материалов лежит на авторах публикаций.

Отсутствие в статьях сведений, содержащих государственную тайну, подтверждается наличием соответствующих Заключений о возможности опубликования с предприятий.

Журнал рассчитан на широкий круг специалистов.



Уважаемый читатель!

Очередной № 11 (19) журнала подготовлен к печати и приурочен к открытию Второй научно-практической конференции «Радионавигация и время», инициированной Российским институтом радионавигации и времени¹. Тем не менее, журнал продолжает сохранять свой широкий междисциплинарный характер, а также информирует о последних научных и учебных изданиях² предприятий Северо-Западного регионального центра Концерна ВКО «Алмаз – Антей».

Доктор военных наук профессор Раскин А.В. – автор ряда книг³ по военно-космической тематике – предлагает вниманию читателей аналитический обзор «Космическое оружие зарубежных государств мира на рубеже веков». В хорошо иллюстрированной статье автором предложено современное понимание понятия «космическое оружие» четырех основных классов: «земля – космос», «воздух – космос», «космос – космос», «космос – земля», рассмотрены проблемы реализации программы Стратегической оборонной инициативы США.

Кандидат технических наук Немов А.В. с учениками Басовым В.А. и Ермолаевым С.В. рассматривают алгоритмы оценивания подпространств в предкорреляционной обработке сигналов глобальных навигационных спутниковых систем. Статья представляет собой проработанную в математическом отношении задачу предвари-

¹ rirt.ru/ru/konferentsiya-radionavigatsiya-i-vremya-2023/

² Сайбель А.Г. Радиофизика: часть 1. Учебное пособие (кандидатский минимум). – СПб: Балтийская печать, 2023. – 316 с.

³ Раскин А.В. Космический театр военных действий в современной войне. – М.: «Технологии рекламы», 2016. – 90 с.; Гетман М.В., Раскин А.В. Военный космос без грифа «секретно». – М.: Фонд «Русские витязи», 2008. – 464 с.

тельной обработки в реальном масштабе времени полезных навигационных сигналов, аддитивно зашумленных внешними помехами и собственными шумами приемника, в интересах адаптивной перестройки диаграммы направленности цифровой антенной решетки.

Кандидат технических наук Крахмалёв В.И. обращается к теме прецизионных сплавов высокого демпфирования и представляет обзор современных подходов к созданию конструкционных материалов, способных эффективно демпфировать виброколебания, возникающие в процессе эксплуатации изделий различного назначения. В статье приводятся особенности и свойства подобных материалов, даются авторские оценки возможных рисков разработчика.

Статья «Тенденции рынка металлорежущего инструмента по применению смарт-покрытий» (Грачикова И.В., Грачикова С.В.) предлагает экономико-техническое обоснование своевременности изготовления сложного инструмента для металлорежущих станков на собственных мощностях промышленных предприятий. В материале рассмотрены основные тренды и тенденции рынка обрабатывающего (металлорежущего) инструмента, предпочтения выбора потребителей, влияние и адаптация к меняющимся условиям внешней среды. В следующем выпуске журнала редакция предполагает опубликовать результаты практической деятельности по изготовлению смарт-инструмента в условиях опытного инструментального производства промышленного предприятия.

Буянов Е.В. в статье «Метод построения рядов простых и составных чисел путём прямых вычислений» обращается к древней и вечной теме поиска простых чисел и предлагает, по мнению автора, оригинальный алгоритм. Суть алгоритма состоит в пошаговом компьютерном создании списка всех возможных составных чисел, получаемых путем перемножения. Отсутствующие (выпадающие) в ряду составных нечетных чисел объявляются простыми. Представляет интерес, по мнению редакции, прежде всего, как подробный методико-алгоритмический подход к созданию одного из решет для просеивания простых чисел.

Аспирант Жизневский А.К. со своим руководителем доктором технических наук профессором Калашниковым В.С. исследуют вопросы совершенствования технологического процесса настройки фазированных решеток за счет применения математических методов пересчета и прогнозирования диаграммы направленности ФАР при целенаправленном перемещении облучателя в области возможных положений.

Кандидат технических наук Жуков Е.Т. и аспирант Белянкин П.В. предлагают осознать второе рождение систем радионавигации свехдлинноволнового (СДВ) диапазона и представляют «Современные тенденции развития зарубежных наземных систем координатно-временного и навигационного обеспечения (КВНО)». В статье представляет собой обзор доступных сведений по зарубежным системам КВНО и дается оценка процессов возрождения низкочастотных систем на основе современных технических достижений, приводятся результаты мониторинга сигналов СДВ-диапазона, предположительно относящихся к работе систем СДВ-навигации.

Кандидат технических наук Курчанов И.А. с соавторами Малафеевским Т.А. и Дудоровой Н.А. продолжают ранее поднятую в предыдущих выпусках нашего жур-

нала тему управления бережливым производством. При этом фиксируется наличие существенных особенностей, если производство характеризуется малой серией изготавливаемых изделий, разрабатываемых этим же предприятием. В статье «Особенности внедрения СМБП в условиях наукоемкого мелкосерийного производства» рассматриваются практические находки в процессном подходе к управлению качеством современного разрабатывающего инновационного предприятия.

Аспирант Жубр А.М. поднимает тему разработки цифровых двойников крупного предприятия оборонно-промышленного комплекса и на этой основе формирования политик управления производством. Статья «Онтологический подход в разработке цифровых двойников для задач управления производством» представляет собой попытку применения онтологического подхода к планированию производства на основе развитого соответствующего программного обеспечения. Делается вывод о том, что этот подход, несмотря на его давнюю известность, может быть эффективно использован как универсальный способ консолидации и унификации данных при разработке информационных систем и ЦД для решения прикладных задач планирования производства и балансировки производственной программы

Мы продолжаем открывать заново научные труды и в текущем выпуске публикует достаточно полный (и, похоже, единственный на сегодня) перевод статьи 1953 года Чарльза Э. Линдблома «Наука о том, «как все-таки выкрутиться» (Подход «детских шажков» в принятии решений)». Интерес редакции к этому материалу обусловлен отчасти тем, что на него нет-нет, да и ссылаются современные исследователи и ученые, а также тем, что ее можно рассматривать как предтечу последовавших научных теорий оптимального, в том числе и терминального, управления. При этом стиль изложения в виде эссе – нестрогого размышления – предполагает возможность проникнуть не в суть формы излишне математизированных представлений о человеческой управленческой деятельности, а в ее содержание. Зачастую мы стыдимся признать, что именно так мы и поступаем, как описывает автор, и стремимся строго описать и формализовать цели, ограничения и допущения, что делает математическую модель не соответствующей действительности, крайне многомерной. И сейчас этот материал вызывает неоднозначную реакцию – на просьбу редакции дать комментарий к статье два ученых разошлись во мнениях, например, «Данная статья является не научным, а политиканским трудом, который проповедует теорию экономического воздействия на политические решения чиновников в буржуазном обществе. Главной целью такой политики является победа на ближайших выборах правящей коалиции вне зависимости от того принесут ли принимаемые экономические решения пользу обществу или вред. Основная цель такой политики – понравиться большинству избирателей и победить на выборах». Противоположное развернутое мнение доктора технических наук профессора Мальцева Г.Н.⁴ редакция приводит в обсуждении статьи. Хочется надеяться, что (может быть недостаточно отшлифованный) публикуемый перевод ученого середины прошлого века будет использован современным поколением молодых (и не только) ученых.

⁴ Издание по теме: Управление созданием и эксплуатацией радиолокационных систем дальнего обнаружения: монография / С.Ф. Боев, А.П. Линкевичус, А.С. Логовский, Г.Н. Мальцев, А.А. Рахманов, А.В. Тимошенко; под ред. С.Ф. Боева. – Москва: Научная книга, 2019. – 424 с.

В разделе «Дискуссионная трибуна» доктор технических наук профессор Плясовских А.П. – специалист в области управления воздушным движением⁵ – возвращает читателей к вопросу практической применимости специальной теории относительности (СТО) А. Эйнштейна при решении реальных задач. Современность, конечно же, позволила человечеству достичь космических скоростей, но лишь в масштабах планеты. Тем не менее, это позволило существенно приблизиться к пределу применимости сегодняшних математических теорий и вновь приступить к апробированию математического аппарата СТО, что неизбежно вызвало определенные нестыковки. Обыгравая аббревиатуру СТО с созвучием числа 100, автор статьи «Специальная теория относительности дает ошибки в 100 раз и более» делится своим недоумением в части противоречивости ее результатов при попытке решения или осмысления навигационных и иных задач.

Доктор военных наук, профессор
С.В. Баушев

⁵ Плясовских А.П., Княжский А.Ю., Рубцов Е.А. Перспективные технологии развития автоматизированных систем управления воздушным движением. – М.: Руснайс, 2023. – 262 с.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Раскин А.В.</i> Космическое оружие зарубежных государств мира на рубеже веков	8
<i>Немов А.В., Басов В.А., Ермолаев С.В.</i> О применении алгоритмов оценивания подпространств в предкорреляционной обработке сигналов ГНСС.....	18
<i>Крахмалёв В.И.</i> Прецизионные сплавы высокого демпфирования и опыт их применения	27
<i>Грачикова И.В., Грачикова С.В.</i> Тенденции рынка металлорежущего инструмента по применению смарт- покрытий	37
<i>Буянов Е.В.</i> Метод построения рядов простых и составных чисел путём прямых вычислений. Структуры рядов простых и составных чисел и связанных с ним рядов	48
Журнал в журнале. Статьи аспирантов и соискателей	
<i>Жуков Е.Т., Белянкин П.В.</i> Современные тенденции развития зарубежных наземных систем КВНО	66
<i>Малафеевский Т.А., Курчанов И.А., Дудорова Н.А.</i> Особенности внедрения СМБП в условиях наукоемкого мелкосерийного произ- водства.....	78
<i>Жубр А.М.</i> Онтологический подход в разработке цифровых двойников для задач управления производством	93
<i>Жизневский А.К., Калашиников В.С.</i> Определение положения облучателя в системе координат антенного полотна при калибровке проходной фазированной антенной решетки.....	100
Листая старые страницы	
<i>Баушев С.В., Сайбель А.Г.</i> Статья Ч. Линдблома «Наука о том, «как все-таки выкрутиться» (Подход «детских шажков» в принятии решений)» как предпосылка создания современной теории оптимального управления и принятия решений	113
Дискуссионная трибуна	
<i>Плясовских А.П.</i> Специальная теория относительности дает ошибки в 100 раз и более	134

УДК 621.396.9

КОСМИЧЕСКОЕ ОРУЖИЕ ЗАРУБЕЖНЫХ ГОСУДАРСТВ МИРА НА РУБЕЖЕ ВЕКОВ

Раскин А.В.

В статье дано понятие «космического оружия». Рассмотрены проблемы реализации программы Стратегической оборонной инициативы США. Проанализированы основные направления развития космического оружия ведущих зарубежных государств в виде четырех основных классов: «земля – космос», «воздух – космос», «космос – космос», «космос – земля».

Ключевые слова. Космическое оружие; стратегическая оборонная инициатива; противоракетная оборона; боевой лазер; космический беспилотный аппарат; наземные комплексы ракетного перехвата.

Введение

Понятие «космического оружия» появилось в середине XX века в связи с начавшимся военным освоением космоса, став закономерным следствием военнотехнического прогресса.

Еще в 1965 году США впервые использовали метеорологический спутник для координации авиаударов в Индокитае. Систему GPS также изначально создавали для военно-морских сил США.

В этой связи уже на старте космической гонки ведущие страны мира развернули работы над системами поражения космических аппаратов (КА) противника на орбитах.

В самом общем виде, под «космическим оружием» понимаются системы вооружения и дополнительные космические средства различного рода, принципа действия и назначения, которые разрабатываются с целью размещения и применения в космическом пространстве. То есть любую космическую систему, решающую военные задачи в космосе можно отнести к космическому оружию.

Рассмотрим понятие «космическое оружие» в узком смысле, как систему вооружения, которая размещается в космосе с целью поражения объектов в космосе и из космоса.

На начальном этапе в основном эти работы были связаны с применением ядерного оружия в космосе.

Еще в конце 1950-х годов ВВС США рассматривали возможность взрыва атомной бомбы на Луне (проект «A119»). В 1959 году было проведено технико-экономическое обоснование возможной размещения военной базы на Луне (проект «Horizon»). В 1958 году был разработан план создания к 1968 году подземной базы ВВС на Луне численностью 21 летчик (проект «Lunex»).

В 1958 году США запустили с бомбардировщика В-47 в космос ракету «Bold Orion». Цель эксперимента – проверить возможность уничтожения КА ядерным зарядом.

В 1962 году у США появились ракеты «*Program-505*» с ядерным зарядом в одну мегатонну для уничтожения космических аппаратов.



Рисунок 1 – Спутник GPS в работе

В этом же году США провели взрыв термоядерной боеголовки на высоте 400 км от Земли. Целью эксперимента являлось тестирование свойств электромагнитных волн, возникающих в ходе детонации. В результате электромагнитное излучение привело к проблемам с электричеством на Гавайях, находящихся в полутора тысячах километров от центра взрыва. Там выключились уличные фонари и телефонные линии, во многих домах домашняя электроника дала сбой. В конечном итоге частицы, высвободившиеся во время термоядерной реакции, закрепились на орбите и образовали радиационный пояс, который за несколько месяцев вывел из строя больше шести спутников на низкой орбите, включая первый коммерческий американский спутник связи «Телстар» [1].

С целью недопущения применения ядерного оружия в космосе в 1967 году США, Великобритания и СССР подписали Договор о космосе, который запрещал размещение на орбите Земли любое оружие массового поражения, а также создание военных баз на Луне и проведение там ядерных испытаний. В настоящее время к договору присоединилось более 110 стран.

После принятия данного договора Соединенные Штаты сосредоточили свою работу в направлении создания безъядерного противоспутникового оружия.

В 1960-е годы был запущен целый ряд проектов в сфере противоспутникового оружия – система противоракетной обороны LIM-49 «*NikeZeus*» (действовал до 1966 года); «*Program-437*» *ASAT* (действовал до 1975 года).

В 1983 году американский президент Рональд Рейган предложил создать наземный и космический эшелон противоракетной обороны для защиты Американского

континента от баллистического оружия. Эти предложения легли в основу, так называемой, Стратегической Оборонной Инициативы (СОИ) [2].

СОИ должна была создать защитный щит вокруг США в космосе с использованием лазерной технологии, а также наземную систему, которая могла отслеживать приближающиеся баллистические ракеты.



Рисунок 2 – Удар по наземным целям в проектах США

Необходимо отметить, что, по мнению некоторых специалистов, суть данной концепции заключалась не в стратегической обороне, а в инициативной обороне, то есть в обороне, предполагающей выполнение самостоятельных действий, как оборонительных, так и наступательных [2].

Основной целью СОИ являлось создание научно-технического задела для разработки широкомасштабной системы противоракетной обороны (ПРО) с элементами космического базирования, исключающее или ограничивающее возможное поражение наземных и морских целей из космоса.

Планировалось, что основным элементом этой системы станет космический эшелон. Для поражения нескольких тысяч целей в течение нескольких минут в данной системе ПРО предполагалось использовать активные средства поражения на новых физических принципах (лазерных, электромагнитных, кинетических), а также нового поколения традиционного ракетного оружия «земля – космос», «воздух – космос».

При создании космического эшелона ПРО американцы столкнулись с рядом проблем – вывод элементов ПРО на опорные орбиты; распознавание целей в условиях сложной помеховой обстановки, а также прицеливание по высокоскоростным маневрирующим целям; сходимостъ лучевой энергии на больших расстояниях и многими другими. Кроме этого, для таких сложных систем характерны нестабильность и способность к самовозбуждению от неисправностей и внешних факторов. Эти сбои в работе могут быть классифицированы противником как подготовка к удару и может спровоцировать его на упреждающие действия.

Следующая проблема – создание мощных источников энергии. Для того чтобы использовать боевой лазер с ядерной накачкой на орбите, на космической платформе

должен находиться источник энергии, сопоставимый по мощности с реактором атомной электростанции. Работать он должен в автономном режиме, без персонала.

Проблема сходимости лучевой энергии на больших расстояниях. Лазерный луч имеет тенденцию рассеиваться в плотных слоях атмосферы, и сфокусировать его на цели становится сложным.

Необходимо отметить, что испытания химического боевого лазера дали определенный результат. При проведении испытаний на дистанции один км в условиях земной поверхности луч такого лазера разрушил борт условной ракеты, облучая ее в течение 12 секунд. Однако для практического использования такого оружия этого было явно недостаточно. Кроме этого возникали трудности с удержанием в течение 12 секунд в фокусе маневрирующей цели. В то время боеголовки межконтинентальной баллистической ракеты Р-36 «Сатана» уже могли маневрировать во время полета.

Много проблем возникло с созданием противоракет. Разработанная фирмой «Локхид» базовая конструкция обладала несовершенной системой наведения и сопровождения целей, требовала доработки система поражения целей. Противоракеты *ERIS (Exoatmospheric Reentry Interceptor Subsystem)*, система заатмосферного перехвата входящих в атмосферу боеголовок, и *HEDI (High Endoatmospheric Defense Interceptor)*, высотный атмосферный перехватчик, так и остались перспективными разработками.

Вместе с этим, после полномасштабного развертывания работ по программе СОИ в США предполагалось иметь боевые космические средства, выполняющие задачи в космосе и из космоса. По мнению специалистов, такие средства должны были обеспечить недопущение боевого применения космических систем военного назначения противника в рамках «космической фазы» военных действий противоборствующих сторон. Это обусловлено тем, что «космическая фаза» будет сопровождаться вооруженной борьбой за установление полного господства в стратегической космической зоне, созданием контролируемых временных интервалов «окон прорыва» в системе ПРО противника и обеспечение ударов по противнику в космосе, через космос и из космоса.

Летом 1987 года был разработан проект «Соглашения об укреплении режима Договора по ПРО и предотвращении гонки вооружений в космосе», но США его отвергли.

Однако проведенный анализ возможностей, получаемых в результате реализации концепции СОИ, показал, что она не решает в требуемом объеме задачи защиты территории США от баллистических ракет и достижения превосходства в стратегической космической зоне. Система оказалась стратегически нецелесообразной и экономически невыгодной. Кроме этого сама программа инициировала гонку стратегических наступательных вооружений.

Чтобы обойти международные договоры, запрещающие размещение ядерного оружия в космосе, ракеты-носители с рентгеновскими лазерами должны были стартовать в начале глобального конфликта. Подлодки должны были курсировать в непосредственной близости от территории вероятного противника (как полагают, в северной части Индийского океана или акватории Норвежского моря).

Работа первого эшелона должна была выглядеть следующим образом. Информация о запуске советских ракет должна поступать от высокоорбитальных разведыва-

тельных спутников. После этого электронно-вычислительные средства Командного центра ПРО рассчитывают баллистические траектории стартовавших ракет. Полученные данные передаются на КА-ретрансляторы. Полученная информация должна была автоматически вводиться в цифровую вычислительную машину боевого КА. После этого КА с рентгеновскими лазерами стартовали с подводных лодок. В космосе происходит стабилизация по всем осям, выведение в расчётный район, после чего атомный заряд подрывается, а пучки рентгеновского излучения уничтожают советские ракеты.

Понятно, что реализация столь сложной схемы требовала привлечения самых совершенных технологий. Главная проблема заключалась в физике процесса. Известно, что при длинах волн менее 200 нм зеркальная оптика перестает работать. Для излучения 1,4 нм, генерируемого лазером Хагелстайна, ситуация становится еще сложнее.

Дальнейший анализ показал, что потребуются новые подходы к рентгеновским лазерам.

В последующем министерство обороны объявило о прекращении работ над программой СОИ. Основным аргументом в пользу этого решения президент Билл Клинтон назвали распад Советского Союза [6].

На современном этапе развития военного дела, когда успех наземных боевых действий существенно зависит от превосходства в космосе, вновь получили развитие программы создания боевых космических средств.

Ввиду большого разнообразия проектов подобных средств, представим их в виде трех основных классов: «земля – космос», «воздух – космос», «космос-космос», «космос-земля».

Боевые космические средства в классе «земля-космос» и «воздух – космос» разрабатываются в виде четырех групп [4, 5]: средства радиоэлектронного подавления (РЭП); наземные комплексы перехвата КА; лазерные противоспутниковые комплексы наземного базирования; авиационный ракетный противоспутниковый комплекс.

Принцип действия средств РЭП сводится к постановке преднамеренных помех радиоканалам космических систем связи. Для этого рассматривается применение наземных, корабельных, самолетных и космических станций постановки активных помех. Они могут разрабатываться специально или использоваться существующие радиотехнические средства. Мощность таких средств постановки помех в зависимости от их условий размещения и диапазона частот может находиться в пределах 0,5 – 100 кВт и более.

Наземные ракетные комплексы перехвата КА (стационарные и мобильные) могут иметь на вооружении как специально разрабатываемые для этой цели ракетные комплексы, так и используемые по другому назначению ракетные комплексы ПРО.

Например, в США разрабатывался проект «Тор». Идея заключалась в том, чтобы разместить на орбите вольфрамовые 6-метровые ракеты без боеголовок и с примитивным стартовым двигателем. За счет силы тяжести и большой массы вольфрама, к моменту полета к Земле они набирали бы скорость около 3675 км/ч. Чтобы система работала эффективно, потребовалась бы целая сеть несущих вольфрамовые стрелы спутников. Проект не был реализован ввиду экономической нецелесообразности [3].

В настоящее время США могут располагать целым рядом наземных ракетных комплексов перехвата КА, созданных на основе как межконтинентальных баллисти-

ческих ракет (МБР) (например, «Минитмен», «Трайидент-2»), так и ракет-носителей (например, «Титан 34Д»). Кроме этого, могут применяться противоракеты типа «Спартан», ГБИ. Однако если ранее в качестве боевых частей предполагалось ставить ядерные боевые части, то сейчас вследствие достигнутых успехов в области радиоэлектроники все разрабатываемые боевые части имеют обычное снаряжение.

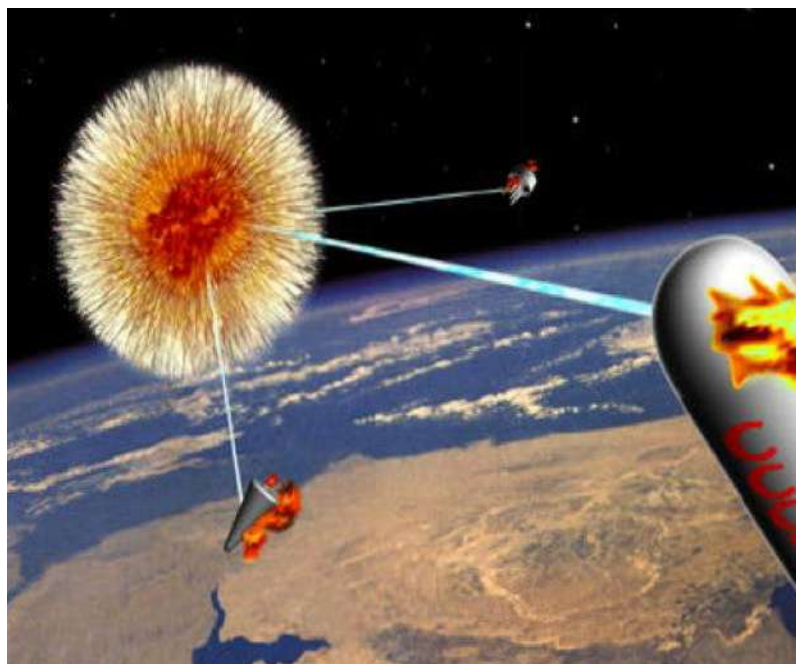


Рисунок 3 – Взрыв источника рентгеновского лазера «*Excalibur*»

Продолжились работы по программам испытаний лазерных комплексов наземного (проект «Миракл») и космического (проект «Альфа») базирования. Данные комплексы способны осуществлять перехват на высотах 1500 км и 750 – 850 км соответственно.

В конце XX начале XXI века продолжились работы по созданию средств перехвата МБР и КА кинетическим оружием. Это снаряды – перехватчики, предназначенные для уничтожения различных целей в космическом пространстве путем их механического разрушения.

В этом направлении ведутся работы по двум направлениям:

- разработка снарядов-перехватчиков, движущихся по баллистической траектории только за счет сил инерции;
- создание снарядов-перехватчиков, обладающих системой наведения (самонаведения) на цель.

Оба типа этих снарядов могут быть рассчитаны либо на выведение в район цели, либо на столкновение с ней, что определяет, в свою очередь, тип боевой части обычной (фугасной, осколочной, прямого попадания) или ядерной. В качестве обычной боевой части прямого попадания могут использоваться подснаряды *HIT* и *MHV*. Разработка ядерных боевых частей спутников-перехватчиков прекратилась по причине их невысокой эффективности.

Обеспечение высокой относительной скорости встречи подснаряда в момент соударения может достигаться несколькими путями [5]:

- использованием энергии горения пороховых газов;
- за счет силы тяги при сжигании ракетного топлива;
- под действием давления магнитного или электрического поля (электромагнитного ускорения).

В современных системах, разрабатываемых в США, реализуется принцип реактивного разгона снаряда.

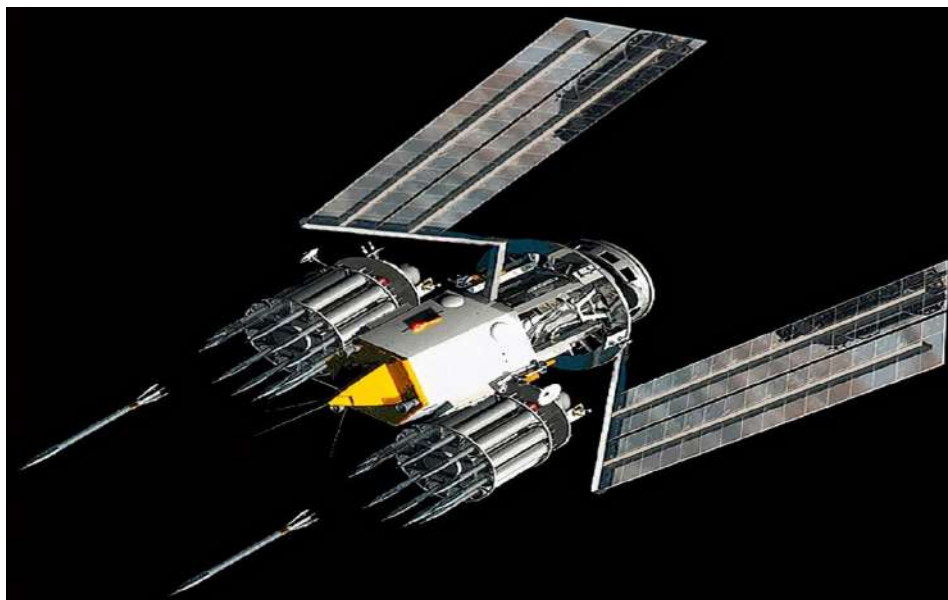


Рисунок 4 – Комплекс «Тор»

Космический ракетный комплекс 2-го поколения SBKKV предназначен для поражения МБР до среднего участка траектории включительно. В качестве носителя используется космическая платформа, совершающая орбитальный полет на высотах 500 – 1000 км. Масса носителя 10-15 т. Дальность перехвата 1000 – 2700 км. Боевой частью является миниатюрный самонаводящийся снаряд.

Космический ракетный комплекс «Porcupine» предназначен для перехвата МБР при старте и на активном участке траектории. В качестве носителя используется КА на низких орбитах. Масса КА составляет 20 т.

В конце XX века активизировались работы по созданию электромагнитных укорителей. Основные трудности, которые испытывают разработчики данного оружия, сводятся к следующему: значительные линейные размеры и масса. Это отодвигает перспективу их развертывания в космическом пространстве на отдаленную перспективу.

Разрабатываемые средства орбитального блокирования представляют собой так называемые «космические мины», которые планируется размещать на орбите в пределах радиуса поражения от КА- цели.

В рассматриваемый период продолжают работы по разработке воздушно-космических самолетов.

Необходимо отметить, что американский «Фалкон» это усовершенствованная советская разработка конструктора Глеба Евгеньевича Лозино-Лозинского «МАКС» (Многоразовая авиационно-космическая система). Он превосходит американский «Шаттл» и советский «Буран». Этот многоразовый заатмосферный пилотируемый аппарат может взлетать с обычных аэродромов, маневреннее других авиационно-космических систем, обладает большой грузоподъемностью.



Рисунок 5 – Американский космический беспилотник «Boeing X-37B»

Следующее направление – спутники-инспекторы, которые должны осматривать другие устройства. Для этого нужна способность перемещаться на орбите, что автоматически превращает такой КА в оружие. На определенном расстоянии от инспектируемого объекта можно осуществить радиоэлектронный удар, поразить лазерным лучом оптику другого спутника или перехватить управление им. У США имеется аппарат для подобных инспекций – беспилотник «Boeing X-37B». Кроме того, в январе 2022 года США запустили два спутника-инспектора, высокоманевренные GSSAP-5 и GSSAP-6.

В 2007 году появилось третье государство в мире, которое перехватило КА в околоземном космическом пространстве. 12 января 2007 года Китай совершил кинетический перехват на высоте 864 км над точкой, расположенной в 4 град. западнее космодрома Сичан. В результате прямого попадания был уничтожен метеорологический спутник «Фэньюнь – 1С». Перехватчик был запущен баллистической ракетой. Поражение было произведено на встречном курсе с очень высокой скоростью столкновения. Отдельные обломки КА приобрели скорость до 300 – 600 м/с [7].

В 2008 году пилотируемый «Shenzhou-7» выпустил в космическое пространство КА-инспектор ВХ-1. Его основным предназначением являлся осмотр китайских КА на предмет неисправностей, а также их фотографирование.

В 2013 году Китай провел испытания трех КА, которые, по мнению экспертов, также могут быть использованы в качестве КА – перехватчиков.

В этом же году Китай вывел на орбиту новую модель КА «*Shiyan-7*», которая может проводить ремонт и изменять орбиту других КА [7].

26 марта 2019 года Индия провела успешное испытание по перехвату КА.

Кроме этого, сегодня известно об экспериментах в Израиле по созданию собственного противоспутникового оружия.

Таким образом, сегодня на низкой околоземной орбите, на высоте около 200 км, находится около 7500 спутников. Все они могут иметь двойное назначение. Российская Федерация выступает против милитаризации космического пространства.

Вместе с этим, проведенный анализ показывает, что в настоящее время наиболее развитые страны мира ведут интенсивные работы по созданию космического оружия.

К наиболее перспективным направлениям можно отнести:

- средства радиоэлектронного подавления (РЭП);
- наземные комплексы перехвата КА;
- лазерные противоспутниковые комплексы наземного базирования;
- авиационный ракетный противоспутниковый комплекс;
- спутники-инспекторы.

Литература

1 Андришин И.А. и др. Ядерное разоружение, нераспространение и национальная безопасность. – М.: Институт стратегической стабильности, 2001.

2 Зегвельд В., Энцинг К. СОИ – технологический прорыв или экономическая авантюра? – М.: Прогресс, 1989.

3 Хозин Г. Великое противостояние в космосе (СССР – США). Свидетельства очевидца. – М.: Вече, 2001.

4 <https://maximonline.ru/>Война в космосе: какое оружие есть на орбите у разных стран.

5 <https://topwar.ru/>Противоспутниковое оружие: крупные державы конкурируют в сфере поражения космических целей.

6 <https://warpot.ru/>Программа СОИ – геополитический «блеф» президента Рейгана, 2019.

7 <https://topwar.ru/>Противокосмическое оружие Китая и России: главный современный вызов для Пентагона, 2018.

Раскин Александр Владимирович – доктор военных наук, профессор, начальник отдела, Командование Космических войск, г. Москва.

Область научных интересов: космические технологии; вооружение и военная техника.

Email: NOC.RNV@goz.ru.

Почтовый адрес: 192012, Санкт-Петербург, проспект Обуховской обороны, дом 120.

SPACE WEAPON OF FOREIGN STATES OF THE WORLD AT THE TURN OF THE CENTURY

The article gives the concept of "space weapons". The problems of implementation of the program of the US Strategic Defense Initiative are considered. The main directions of development of space weapons of the leading foreign countries are analyzed in the form of four main classes: "earth-space", "air-space", "space-space", "space-earth".

Keywords. Space weapon; strategic defense initiative; missile defense; combat laser; space unmanned vehicle; ground-based missile interception systems.

Raskin Alexander Vladimirovich – Doctor of Military Sciences, Professor, Head of Department, Command of the Space Forces, Moscow.

Research interests: space technologies; weapons and military equipment.

УДК 621.396.9

О ПРИМЕНЕНИИ АЛГОРИТМОВ ОЦЕНИВАНИЯ ПОДПРОСТРАНСТВ В ПРЕДКОРРЕЛЯЦИОННОЙ ОБРАБОТКЕ СИГНАЛОВ ГНСС

Немов А.В., Басов В.В., Ермолаев С.В.

Предмет работы – описание и анализ алгоритмов определения количества сигналов в пространственной выборке данных. В материале приведены формульное описание и результаты анализа статистических характеристик алгоритмов оперативного оценивания размерности сигнального подпространства собственных векторов ковариационной матрицы данных. Пространственная матрица данных оценивается в предкорреляционной процедуре обработки сигналов по выборке из аддитивной смеси навигационных сигналов ГНСС, мощных мешающих сигналов и собственных шумов аппаратуры. Все сигналы принимаются и обрабатываются ЦАР. Алгоритмы применимы для использования в оснащенной компактной ЦАР навигационной аппаратуре потребителей ГНСС с целью улучшения работы в условиях сложной электромагнитной обстановки.

Ключевые слова: размерность сигнального подпространства; алгоритм; ГНСС; ЦАР.

Введение

Развитие микроэлектроники и методов цифровой обработки сигналов (ЦОС) стимулирует перманентное улучшение навигационной аппаратуры потребителей (НАП) глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), в частности ГЛОНАСС. Аппаратуру, предназначенную для ответственных применений, таких, как воздушный транспорт, синхронизация энергосетей, охрана важных объектов, в настоящее время целесообразно конструировать на основе цифровых антенных решеток (ЦАР) [1, 2]. В состав ЦАР входит устройство пространственной (ПОС) и/или пространственно-временной обработки (ПВОС) навигационных сигналов (НС). С помощью ПОС и ПВОС в предкорреляционной обработке достигается эффективное улучшение отношения сигнал/шум, достигаемое, в основном, ослаблением мешающих колебаний сигналов радиопомех от локализованных в пространстве источников излучений (ИИ). Ниже сигналы радиопомех в отличие от навигационных сигналов (НС) будем называть просто сигналами. Успешность корреляционной обработки НС в НАП в условиях сложной электромагнитной обстановки может быть обеспечена за счет «выбеливания» сигналов.

Распространенные на практике алгоритмы ПОС и ПВОС [1] обеспечивают компенсацию сигналов по критерию минимизации мощности выходных колебаний устройства при выбранных ограничениях на относительное ослабление сигналов в заданных направлениях. В данных алгоритмах производится взвешивание принимаемого вектора сигналов вектором весовых коэффициентов и используется оценка корреляций пространственного сигнала с формированием ковариационной матрицы дан-

ных (КМ). Выходным сигналом является процесс, представляющий собой аддитивную смесь НС, собственных шумов аппаратуры и остатков «выбеленных» сигналов. Алгоритмы могут работать автоматически теоретически при любом числе ИИ на единицу меньшем количества излучателей антенной решетки. Это число формирует число степеней свободы оценочной пространственной КМ. В указанных алгоритмах, как правило, не используется информация о количестве ИИ, т.е. сигналов (помех). Соответственно не изменяется число задействованных излучателей антенной решетки и не минимизируются лишние степени свободы ЦАР. Избыточность в количестве пространственных каналов обработки сигналов приводит к возрастанию мощности собственных шумов аппаратуры уже в корреляционной обработке.

Другой класс алгоритмов использует для формирования ВВК главные компоненты разложения оценочной КМ по системе собственных векторов [3]. В результате улучшается прием НС с близких к ИИ направлений. В основе компенсации помеховых колебаний положено свойство ортогональности собственных векторов, соотнесенных подпространствам шумов и сигналов (помех). Недостаток данных алгоритмов состоит в том, что для реализации требуются повышенная вычислительная производительность цифровых процессоров и высокая вычислительная эффективность реализуемых в них процедур линейной алгебры. Дополнительная сложность заключается в том, что в данных алгоритмах для обеспечения процесса компенсации необходимо оценивать количество сигналов.

Для определения количества ИИ можно воспользоваться методами теории корреляционного анализа. Во всех случаях по оценочной КМ предлагается рассчитывать вектор собственных чисел (СЧ) собственной системы КМ и оперативно оценивать размерность сигнального подпространства, учитывая, что НС ввиду их относительно малой мощности соотносятся с шумовым подпространством.

Известные методы оценивания количества сигналов [4-9] по собственной системе КМ применительно к ЦОС в НАП ГНСС исследованы недостаточно. В реальных условиях приема сигналов ГНСС в ситуациях априорной неопределенности относительно случайных сигналов ИИ характеристики алгоритмов оценивания подпространств мало изучены.

Методы оценивания размерности сигнального подпространства синтезированы на асимптотически оптимальных информационных критериях [4-7], применимы также эвристические градиентные методы [8]. Градиентные алгоритмы представляют особый интерес, поскольку для реализации требуют меньших вычислительных затрат и могут работать надежнее синтезированных на информационных критериях алгоритмов в ситуациях конечной по времени выборки сигналов или зависимых (когерентных) излучений ИИ.

Корреляционный анализ ниже редуцирован к пространственной обработке сигналов (ПОС), оценивается пространственная КМ, что не меняет сущности рассмотрения. Источники сигналов интерпретированы как точечные ИИ, расположенные в несовпадающих точках пространства.

1 Собственная система ковариационной матрицы

Ниже для цельности изложения материала приведем некоторые выкладки из работы автора доклада [5]. Пусть L – число ИИ, далее сигналов. Пусть имеется M

синхронизированных общим гетеродином каналов обработки сигналов, принимаемых антенной решеткой (АР), состоящей из N излучателей, в рассматриваемом случае $M=N$. Излучатели расположены в дальней зоне по отношению к ИИ. В момент времени t_k наблюдения на выходах M -элементной АР можно записать в виде вектора-столбца

$$\mathbf{x}(t_k) = \mathbf{A}\mathbf{s}(t_k) + \mathbf{n}(t_k),$$

где $\mathbf{A} = [\mathbf{a}_1, \dots, \mathbf{a}_L]$ – матрица размером $(M \times L)$ является указательной (фокусирующей, формирующей),

\mathbf{a}_l – неслучайный комплексный вектор-столбец, описывающий амплитудно-фазовое распределение l -го сигнала на N ПЭ,

$\mathbf{s}(t_k) = [s_1(t_k), \dots, s_L(t_k)]^T$, $s_l(t_k)$ – комплексная амплитуда сигнального колебания от l -го ИИ в k -й момент времени.

Вектор $\mathbf{n}(t_k)$ представляет собой вектор собственных шумов, приведенных к выходам антенных элементов.

Пусть $\mathbf{R}_s = E\{\mathbf{s}(t_k)\mathbf{s}^H(t_k)\}$ – ковариационная матрица сигналов, $\mathbf{R}_n = E\{\mathbf{n}(t_k)\mathbf{n}^H(t_k)\}$ – ковариационная матрица шумов, « E » – знак усреднения по реализациям. Будем исходить из предположения, что: а) сигналы – стационарные центрированные случайные процессы, могут быть статистически независимыми, частично коррелированными друг с другом или когерентными; б) шумы – пространственно некоррелированные «квазибелые» колебания с дисперсией σ^2 . Тогда $\mathbf{R}_n = \sigma^2 \mathbf{I}_M$ и КМ суммы входных сигналов размерности $(M \times M)$ имеет вид

$$\mathbf{R} = \mathbf{A}\mathbf{R}_s\mathbf{A}^H + \sigma^2 \mathbf{I}_M. \quad (1)$$

Если сигналы статистически независимы или частично коррелированы, то $rank(\mathbf{R}_s) = L$. Если есть когерентные источники, то ранг \mathbf{R}_s уменьшается на количество групп когерентных источников и $rank(\mathbf{R}_s) < L$. Далее предположим, что все ИИ некогерентны. Если столбцы матрицы \mathbf{A} линейно независимы (что выполняется, когда направления на ИИ различны), тогда $rank(\mathbf{A}) = L$ и $rank(\mathbf{A}\mathbf{R}_s\mathbf{A}^H) = L$. Таким образом, матрица $\mathbf{A}\mathbf{R}_s\mathbf{A}^H$ имеет L ненулевых и $M-L$ нулевых СЧ. Пусть $\mathbf{A}\mathbf{R}_s\mathbf{A}^H = \sum_{m=1}^M \lambda_m^c \mathbf{e}_m \mathbf{e}_m^H$ – разложение эрмитовой матрицы [3, 5] $\mathbf{A}\mathbf{R}_s\mathbf{A}^H$ по собственной системе, где вещественные СЧ расположены в порядке убывания:

$$\lambda_1^c \geq \lambda_2^c \geq \dots \geq \lambda_L^c \geq \lambda_{L+1}^c = \lambda_{L+2}^c = \dots = \lambda_M^c = 0, \quad (2)$$

и $\{\mathbf{e}_m\}_{m=1}^M$ – соответствующие им собственные векторы. Т.к. $\mathbf{R}_n = \sigma^2 \mathbf{I}_M$, то собственные векторы матрицы \mathbf{R} совпадают с собственными векторами $\mathbf{A}\mathbf{R}_s\mathbf{A}^H$, а ее СЧ (2) можно записать в виде $\lambda_m = \lambda_m^c + \sigma^2$, если $1 \leq m \leq L$, или в виде $\lambda_m = \sigma^2$, если $L+1 \leq m \leq M$.

На практике доступно конечное число K_i отсчетов данных

$$\mathbf{X} = \mathbf{A}\mathbf{S} + \mathbf{N},$$

где $\mathbf{X} = [\mathbf{x}(t_1), \dots, \mathbf{x}(t_{K_t})]$,
 $\mathbf{S} = [\mathbf{s}(t_1), \dots, \mathbf{s}(t_{K_t})]$,
 $\mathbf{N} = [\mathbf{n}(t_1), \dots, \mathbf{n}(t_{K_t})]$,

по которым можно получить [9] несмещенную, состоятельную и асимптотически оптимальную оценку матрицы \mathbf{R} (1)

$$\hat{\mathbf{R}} = \frac{1}{K_t - 1} \sum_{k=1}^{K_t} \mathbf{x}(t_k) \mathbf{x}^H(t_k) = \frac{1}{K_t - 1} \mathbf{X}\mathbf{X}^H. \quad (3)$$

Данная оценка КМ вычислительно недостаточно эффективна, поскольку требует для накопления обращения к K_t ячейкам памяти, поэтому может быть заменена более эффективной оценкой с экспоненциальным накоплением

$$\hat{\mathbf{R}}(i) = (1 - \xi) \cdot \hat{\mathbf{R}}(i-1) + \xi \cdot \mathbf{X}^*(i) \cdot \mathbf{X}^T(i), \quad (4)$$

где $\xi \leq 1$ – параметр накопления КМ,

i – номер отсчета вектора смеси входных сигналов $\mathbf{X}(i)$.

Начальная КМ – нулевая. Данная оценка требует при накоплении обращения к 1-й ячейке памяти.

Элементы оценочной КМ (3, 4) являются случайными величинами и имеют совместное распределение плотности вероятности Уишарта. Собственные числа шумового подпространства в силу случайного характера оценочной КМ (3) не равны между собой, их разброс зависит от длины выборки K_t . Для (4) разброс СЧ зависит от постоянной времени накопления КМ. Собственные числа сигнального подпространства характеризуют мощности сигналов, шумового подпространства характеризуют мощность собственных шумов аппаратуры и мощности НС.

2 Методы оценивания подпространств, основанные на информационных теоретических критериях

В [10] показано, что при $K_t \gg M$ критерием максимального правдоподобия для проверки гипотезы о том, что первые l СЧ больше последних $M-l$ СЧ (это шумовые СЧ теоретически при стремящемся к бесконечности времени накопления равные между собой), служит выражение

$$\Lambda(l) = K_t(M-l) \ln \left\{ \frac{1}{M-l} \sum_{k=l+1}^M \lambda_k \right\} \left/ \left(\prod_{k=l+1}^M \lambda_k \right)^{\frac{1}{M-l}} \right\}, \quad (5)$$

в котором отношение в скобках – это отношение среднего арифметического $M-l$ наименьших собственных значений к их среднему геометрическому.

На основе (5) сформированы информационные критерии, которые в общем виде записываются в виде $\Lambda(l) + \rho(l)$, где $\rho(l)$ – штрафная функция, которая определяет

ся количеством степеней свободы модели. Количество степеней свободы модели равно $l(2M - l)$.

Выражение для информационного критерия *AIC* (*Akaike Information Criterion*)

$$AIC(l) = \Lambda(l) + l(2M - l), \quad l_{AIC} = \arg \min_l \{AIC(l)\}. \quad (6)$$

Для информационного критерия *MDL* (*Minimum Description Length*) [10]

$$MDL(l) = \Lambda(l) + \frac{1}{2}(l(2M - l) + 1) \ln K_t, \quad l_{MDL} = \arg \min_l \{MDL(l)\}. \quad (7)$$

Среднее геометрическое меньше среднего арифметического за исключением случая равенства чисел. Отсюда следует, что для истинного значения КМ информационный критерий примет минимальное значение, когда l соответствует количеству сигнальных СЧ. При использовании оценочной КМ, т.е. неравных между собой шумовых СЧ, или при когерентных ИС, (равных между собой сигнальных СЧ), информационные критерии работают с ошибками.

3 Градиентные методы оценивания подпространств

Как следует из (2), сигнальные СЧ больше, чем шумовые, контраст между этими группами СЧ увеличивается с $K_t \rightarrow \infty$, а шумовые СЧ стремятся стать одинаковыми. Поэтому, если рассчитать градиент собственных чисел по формуле

$$\Delta \lambda_m^{(1)} = \lambda_m - \lambda_{m+1}, \quad m = 1, 2, \dots, L, \dots, M - 1.$$

то значение градиента $\Delta \lambda_L^{(1)}$ будет существенно больше градиентов $\Delta \lambda_{L+1}^{(1)}, \dots, \Delta \lambda_{M-1}^{(1)}$.

На этом свойстве СЧ основан критерий *EGM1* [8]. Критерий *EGM2* представляет собой модификацию критерия *EGM1*, использующую натуральные логарифмы СЧ.

Алгоритм *EGM1*:

1) Расчет СЧ матрицы $\hat{\mathbf{R}}$ и их упорядочивание в порядке убывания.

2) Расчет среднего градиента $\Delta \bar{\lambda}^{(1)} = (\lambda_1 - \lambda_M) / (M - 1)$ и градиентов

$$\Delta \lambda_m^{(1)} = \lambda_m - \lambda_{m+1}, \quad m = 1, 2, \dots, M - 1.$$

3) Нахождение всех m , удовлетворяющих условию $\Delta \lambda_m^{(1)} \leq \Delta \bar{\lambda}^{(1)}$, и построение ряда $\{m_k\} = \{m \mid \Delta \lambda_m^{(1)} \leq \Delta \bar{\lambda}^{(1)}\}$

4) Определение члена ряда m_0 , первого в последнем непрерывном блоке (по k) ряда $\{m_k\}$. Тогда оцениваемое количество ИС находится по формуле

$$l_{EGM1} = m_0 - 1. \quad (8)$$

Достоверность всех методов определения размерности сигнального подпространства зависит [5] от отношения сигнал/шум, протяженности реализации процесса K_t , а также от отношения L/M . Эффективность падает при когерентном излучении нескольких ИС.

Вследствие высокой сложности аналитических расчетов алгоритмы ниже исследованы методом Монте-Карло на статистической модели устройства ЦОС ИС при 300 проведенных испытаниях. Использована модель данных, заданная формулами (1-3), алгоритмы, заданы формулами (5-8). Эффективность алгоритма можно ха-

рактизовать вероятностью полной ошибки, под которой понимается вероятность любого неправильного определения количества сигналов. Альтернативное событие описывается вероятностью правильного оценивания количества сигналов, являющейся мерой надежности работы алгоритма.

4 Эффективность алгоритмов оценивания количества сигналов

Вследствие высокой сложности аналитических расчетов алгоритмы ниже исследованы методом Монте-Карло на статистической модели устройства ЦОС НС при 300 проведенных испытаниях. Использована модель данных, заданная формулами (1-3), алгоритмы, заданы формулами (5-8). Эффективность алгоритмов можно охарактеризовать вероятностью полной ошибки, под которой понимается вероятность любого неправильного определения количества сигналов. Альтернативное событие описывается вероятностью правильного оценивания количества сигналов, являющейся мерой надежности работы алгоритма.

Описание модели. Действует от 1 до 6 некогерентных ИИ с одинаковой мощностью. Направления падения плоских фронтов волн на плоскую гексагональную антенную решетку из 7 излучателей, настроенных на резонансную частоту 1602 МГц, различаются на 45° по азимуту, отношение сигнал/шум (С/ш) варьируется от 0 до 40 (дБ). С/ш в модели задается на входе вычислителя КМ. Накопление КМ производится в вычислителе по формуле (3). Количество отсчетов K_i в обоих алгоритмах выбрано 256. Определялась вероятность события не успешной отработки вышеописанных алгоритмов тождественного событию полной ошибки (рисунок 1). Количество излучателей 7 в составе ЦАР выбрано из соображений достижения максимального числа пространственных степеней свободы антенной решетки при разумной сложности технической реализации НАП. На выбор параметра накопления данных K_i повлияло с одной стороны логичное требование уменьшения флуктуаций оценочной КМ, а с другой стороны – возможность работы в потенциально быстроизменяющейся электромагнитной обстановке.

Непосредственно исследование выполнено при задании стационарных процессов сигналов и собственных шумов аппаратуры. Сигналы и собственные шумы являлись квазибелыми процессами в полосе частот, совпадающей с полосой частот обработки сигналов ГЛОНАСС в НАП.

Параллельно с определением вероятности полной ошибки алгоритмов производился контроль числа обусловленности КМ. Чем ниже число обусловленности (хуже обусловленность), тем менее точно определяются СЧ. Разложение КМ по собственной системе производилось с помощью функции «eig()», определение числа обусловленности - с помощью функции «cond()» в программной среде Matlab версии R2018.b.

На рисунках 1а и 1б изображены диаграммы, на которых градациями серого цвета отображена вероятность ошибки: светло-серым оттенком показаны области единичной вероятности полной ошибки, темно-серым оттенком – области единичной вероятности правильной работы алгоритмов, Промежуточным серым тоном – области вероятности ошибки, меньшей 1. Числу сигналов соответствуют столбцы таблицы, причем цифра числа сигналов стоит справа, а нулевое количество сигналов не показано. Строки таблицы соответствуют отношению С/ш.

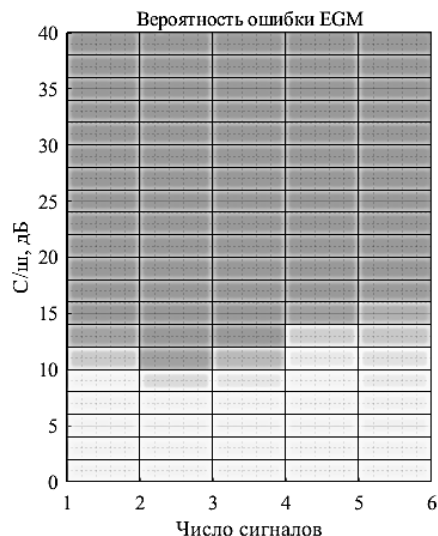


Рисунок 1а – Вероятность полной ошибки алгоритма EGM1

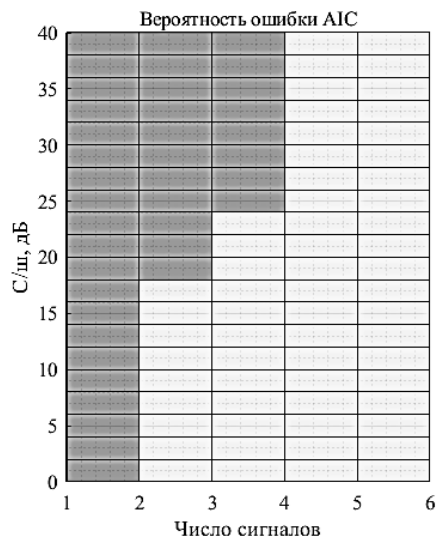


Рисунок 1б – вероятность полной ошибки алгоритма AIC

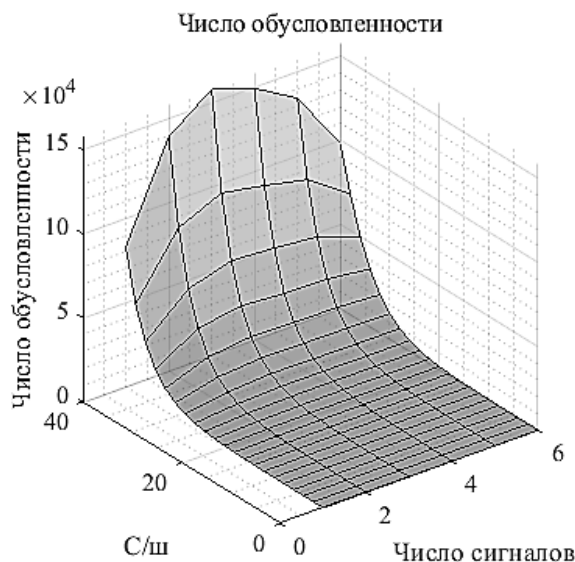


Рисунок 2 – Число обусловленности оценочной КМ

Вероятности полной ошибки обработки алгоритмов зависят от отношения $C/\text{ш}$ и числа сигналов. С увеличением $C/\text{ш}$ вероятность ошибки стремится к 0, с увеличением количества сигналов вероятность ошибки возрастает. Асимптотически оптимальный алгоритм AIC выигрывает у EGM1 и работает безошибочно при вышеуказанных условиях только при одном сигнале в пространственной выборке. Проигрыш алгоритма AIC эвристическому алгоритму EGM1 при малых отношениях $C/\text{ш}$ и большом количестве сигналов можно объяснить конечным количеством отсчетов сигналов K_t и тем, что с уменьшением $C/\text{ш}$ ухудшается обусловленность оценочной КМ (рисунок 2).

Заключение

В статье обобщены результаты развития метода корреляционного анализа применительно к оцениванию количества источников помех, воздействующих на НАП ГНСС при пространственно-временной обработке НС.

Для применения из описанных алгоритмов оценивания подпространств можно рекомендовать градиентный алгоритм. При плохо обусловленных оценочных КМ, что имеет место при обработке НС ГНСС, результат работы градиентного алгоритма более надежный в диапазоне отношений С/ш. EGM1 также работает лучше АИС в условиях малых выборок из принимаемых сигналов при близком к числу степеней свободы антенной решетки количестве сигналов. Данные выводы не противоречат асимптотической оптимальности алгоритма, основанного на информационном критерии.

Описанные алгоритмы оценивания подпространств предназначены для ПОС или ПВОС в ЦАР, осуществляющей предкорреляционную обработку сигналов в НАП ГНСС. Данные алгоритмы могут использоваться также для ЦОС во временной области.

Литература

1 Немов А.В. Цифровые антенные решетки: новое качество спутниковых радионавигационных систем. – СПб: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. – 159 с.

2 Немов А.В., Никитин А.В., Ермолаев С.В. Принципы построения навигационной аппаратуры потребителя системы ГЛОНАСС для полетных контроллеров легких беспилотных летательных аппаратов в условиях ограничений // Радиотехника. – 2022. – Т. 86. № 11. – С. 51-56.

3 Минь Д.Л., Немов А.В., Тюфтяков Д.Ю. Применение метода главных компонент для компенсации помех при приеме сигналов глобальной навигационной системы // Изв. вузов России. Радиоэлектроника. – 2017. – №3. – С. 16-23.

4 Wax M. Detection of signal by information theoretic criteria / M. Wax, T. Kailath // IEEE Trans. Acoustic, Speech, and Signal Processing. – 1985. – V. ASSP-33. – № 4. – P. 387-392.

5 Nemov A.V., Tyufyakov D.Yu. On the Estimation of Subspaces Dimensionality in the Correlation Analysis of Signals Received and Processed by a GNSS Digital Antenna Array. 28th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems (ICINS), Saint Petersburg, Russia, 2021. – P.1-4.

6 Akaike H. A new look at the Statistical Model Identification / H. Akaike // IEEE Trans. Autom. Control. – 1974. – V. AC-19. – № 6. – P. 716-723.

7 Ермолаев В.Т., Мальцев А.А., Родюшкин К.В. Статистические характеристики критериев АИС и MDL в задаче оценки числа источников многомерных сигналов в случае короткой выборки // Изв. вузов. Радиофизика. – 2001. – №12. – С. 1062-1069.

8 Luo J. Using Eigenvalue Grads Method to Estimate the Number of Signal Source / J. Luo, Zh. Zhang. Proceedings of ICSP2000. – 2000. – P. 223-225.

9 Немов А.В., Тюфтяков Д.В. Алгоритмы оценивания количества сигналов в выборках данных, обрабатываемых ЦАР ГНСС / В сборнике XXIX СПб конференции по интегрированным навигационным системам, 2022. – С. 332-336.

10 Anderson T.W. Asymptotic Theory for Principal Component Analysis. Ann. Math. Stat., vol. 34, pp. 122-148, January 1963.

Немов Андрей Васильевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, руководитель проектного направления, АО «Российский институт радионавигации и времени», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: адаптивные фазированные антенные решетки, цифровая обработка сигналов в ГНСС, моделирование и оптимизация сложных систем.

Email: an.nilov2011@yandex.ru

Басов Владислав Вадимович – инженер 2 категории, АО «Навигатор», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: спутниковая радионавигация, моделирование и оптимизация сложных систем.

Email: basov_1991@bk.ru

Ермолаев Сергей Валерьевич – аспирант, заместитель генерального конструктора, АО «Российский институт радионавигации и времени», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: радиокоординатометрия, военные науки, оптимизация сложных систем.

Email: ermolaev_sv@rirt.ru

ON THE APPLICATION OF SUBSPACES ESTIMATION ALGORITHMS IN THE PRECORRELATION GNSS SIGNAL PROCESSING

The subject of the paper is the description and analysis of some algorithms for determining the number of signals in a spatial data sample. This article presents some formula description and the results of the statistical characteristics analysis of two algorithms for the operational estimation of a signal subspace dimension of a covariance data matrix eigenvectors space. A spatial data matrix is evaluated in a pre-correlation signal processing based on a sample from an additive mixture of GNSS navigation signals, powerful interfering signals and intrinsic noise of the equipment. All signals are received and processed by the digital antenna array. Given algorithms are applicable for use in the GNSS consumer equipment including a compact digital antenna array in order to improve working performance in action by complex electromagnetic environment.

Keywords: dimension of the signal subspace; algorithm; GNSS; digital antenna array.

Nemov Andrey Vasilievich – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Project Manager, Russian Institute of Radio Navigation and Time, St. Petersburg.

Research interests: adaptive phased antenna arrays, digital signal processing in GNSS, modeling and optimization of complex systems.

Basov Vladislav Vadimovich – engineer, JSC "Navigator", St. Petersburg.

Research interests: satellite radio navigation, modeling and optimization of complex systems.

Ermolaev Sergey Valerievich – post-graduate student, deputy general designer, JSC Russian Institute of Radio Navigation and Time, St. Petersburg.

Area of scientific interests: radio coordinatometry, military sciences, optimization of complex systems.

УДК 669.018.6:539.67

ПРЕЦИЗИОННЫЕ СПЛАВЫ ВЫСОКОГО ДЕМПФИРОВАНИЯ И ОПЫТ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

Крахмалёв В.И.

Цель данной публикации – привлечь внимание работников КБ к возможностям и способами рационального применения конструкционных материалов, способных эффективно демпфировать виброколебания, ознакомить с особенностями и свойствами промышленного материала, помочь разработчикам конструкций в преодолении случайных ошибок при их использовании в высокоточных и виброустойчивых конструкциях.

Ключевые слова: вибрации, демпфирование, внутреннее трение, ферромагнетики, демпфирующие свойства, прецизионные сплавы, магнитомеханические конструкционные материалы, виброустойчивые конструкции.

1 Общие сведения о применении демпфирующих материалов в технике

Тенденция к увеличению скоростей современных машин и механизмов приводит к неизбежному росту вредных вибраций и шумов, повышению опасности разрушения деталей при прохождении колебаний системы через резонанс вследствие обычной и акустической усталости, понижению надежности работы механизмов и ухудшению условий труда. Борьба с вибрациями и шумами является в настоящее время одной из актуальных проблем, важной практически для всех отраслей народного хозяйства и в первую очередь, для машиностроения, приборостроения и судостроения и др.

Эффективным, а в ряде случаев и единственно приемлемым способом уменьшения вредных вибраций и шумов, снижающим резонансные пиковые напряжения, является использование для деталей машин и конструкций, работающих в динамическом режиме, сплавов с большим внутренним трением, так называемых сплавов высокого демпфирования (СВД). Для них характерно относительное рассеяние энергии в диапазоне рабочих амплитуд более чем 1%, т. е. не меньше, чем в таком демпфирующем материале, как серый чугун.

Демпфирующую способность (ДС) материалов необходимо также учитывать при проектировании деталей узлов и механизмов, работающих в сложных вибрационных условиях, поскольку при прочих равных условиях деталь из сплава, обладающего высоким демпфированием, окажется более надежной при значительной вибрационной нагрузке и ударе, чем та же деталь, изготовленная из сплава, не обладающего этим свойством.

Общей закономерностью для большинства материалов является возрастание демпфирующих свойств с повышением температуры, амплитуды циклических напряжений и размера зоны высокого уровня напряжений [1-8].

Т а б л и ц а 1 – ДС (ψ) конструкционных материалов при амплитуде колебаний $0,1 \sigma_{0,2}$ [6]

Материал	Ψ , %	Материал	Ψ , %
Магний	49	Серый литейный чугун	6
Сплавы системы Мп-Си	40	Низкоуглеродистая сталь	4
Сплавы системы Ni-Ti	40	Ферритная нержавеющая сталь	3
Сплав системы Fe-Cr-Al («сайлен-таллой»)	40	Ковкий чугун	2
Высокоуглеродистый серый чугун	19	Среднеуглеродистая сталь	1
Никель (чистый)	18	Аустенитная нержавеющая сталь	1
Железо (чистое)	16	Алюминий	0,3
Мартенситная нержавеющая сталь	8	Титановые сплавы, Латунь, бронзы	0,2

Преимуществами гашения колебаний с помощью сплавов высокого демпфирования являются простота (отпадает надобность в специальных, порою довольно сложных виброгасящих устройствах), практическая независимость эффекта демпфирования от частоты и, как правило, более широкая, чем у высоко демпфирующих пластмасс, область рабочих температур.

2 Физический смысл процесса магнитомеханического демпфирования

Демпфирование как явление обратное эффекту магнитоstriction, заключающееся в изменении намагниченности ферромагнетика под действием механических деформаций, было обнаружено в 1865 году итальянским физиком Э. Виллари (E. Villari), поэтому и получило в его честь второе название «эффект Виллари».

Проявление эффекта демпфирования объясняется тем, что под действием механических напряжений изменяется доменная структура ферромагнетика – происходит обратимое смещение границ доменов и изменение направлений их векторов намагниченности, т.е. те же процессы, что и при намагничивании. При совпадении направленности упомянутых процессов, происходящих в результате механической деформации и намагничивания, имеет место возрастание магнитной проницаемости, в противном случае – её уменьшение.

В основу металловедческой классификации СВД положен следующий принцип: «независимо от химического состава и сложности действующих механизмов высокое демпфирование в любом материале определяется характерной структурной особенностью его внутреннего строения».

3 Демпфирующая способность ферромагнитных материалов

К группе материалов с магнитомеханическим механизмом рассеяния энергии за счёт легкой подвижности магнитных доменов относятся все ферромагнитные матери-

алы, например, сплавы системы Fe-Cr с различными легирующими добавками (они близки по составу к известным сталям ферритного класса типа X13) и сплавы на основе Co, из которых наиболее известен сплав НИВКО-10 или K63H32.

Очень важно понимать, что механизм высокого демпфирования реализуется только в прецизионных составах этих материалов и только после специальных режимов вакуумной термообработки, при которой формируется равновесная зёрненная структура с высокими магнитными свойствами.

Вклад в необратимое рассеяние энергии в ферромагнетиках при приложении к ним циклических нагрузок вносят следующие три эффекта: магнитомеханический гистерезис, макровихревые и микровихревые токи.

Магнитомеханический гистерезис функционально связан с магнито-стрикционным эффектом и перемещением границ магнитных доменов при приложении механических напряжений. Этот гистерезис особенно велик в ферромагнетиках с большой магнито-стрикцией и высокой магнитной проницаемостью в слабых полях.

В реальных конструкциях могут возникать различные типы колебаний, например, синусоидальные, прямоугольные, пилообразные, затухающие, нарастающие, амплитудно-модулированные, частотно-модулированные, колебания модулированные по амплитуде и фазе, колебания, амплитуда и фаза которых – случайные функции, беспорядочные колебания.

Уровень возникающих в конструкциях вибраций и их отрицательное влияние на прочность и устойчивость конструкций и оборудования определяется многими факторами – мощностью источника вибраций, жесткостью конструкций, массой колеблющихся частей, амплитудно-частотными характеристиками циклов нагружения и т.д.

Если к конструкции предъявляется комплекс требований по физико-механическим и конструкционным свойствам, то только металлические сплавы высокого демпфирования (СВД) эффективно обеспечивают демпфирование колебаний.

Самым эффективным способом борьбы с вибрациями безусловно следует считать устранение самой причины виброколебаний. Однако, если это затруднено или невозможно, приходится прибегать к снижению (подавлению) возникающих по той или иной причине колебаний конструкции, в том числе путём применения демпфирующих материалов. Поэтому одним из главных достоинств любого ДС конструкционного назначения является его способность эффективно гасить вибрации в самом источнике колебаний, но возможность применения ДС непосредственно в источнике, либо максимально близко к источнику колебаний предоставляется довольно редко.

4 Промышленные конструкционные стали повышенного демпфирования

Конструкционные металлические СВД вне зависимости от конкретного механизма рассеяния энергии должны обладать повышенной демпфирующей способностью в определенном структурном состоянии при обеспечении других технико-экономических показателей. СВД должны обеспечивать эффективное затухание упругих колебаний в широком интервале температур, частот и амплитуд деформации. Только ограниченное количество физических механизмов демпфирования в металлических материалах способно обеспечить это требование. Как правило, это не термически активированные, амплитудно-зависимые механизмы рассеяния энергии. Амплитудная зависимость демп-

фирующей способности характеризуется малым фоном и средней величиной относительного рассеяния ($\psi \approx 1-5\%$) при значительных амплитудах.

К промышленным материалам на основе железа с магнитомеханическим демпфированием относятся коррозионностойкие хромистые стали ферритного класса 10X13 и 20X13, а также стали 15X11МФ, 15X12ВМФ, 10X12В2МФ, 10X12В4МФ. Их демпфирующая способность примерно на порядок выше величины демпфирующей способности нержавеющей сталей аустенитного класса.

Эти стали применяют после закалки с 950-1050°C в масле и отпуска при 600-750°C с охлаждением на воздухе. В таком состоянии они имеют повышенную прочность в сочетании с удовлетворительной пластичностью до температур порядка 350-400°C (стали 10X13 и 20X13) и 550-580°C (сталь 10X12В4МФ) при хорошей коррозионной стойкости. При более высоких температурах их прочность резко падает.

Из сталей данного типа изготавливают цельнокованные роторы, диски и лопатки турбин с рабочей температурой – для наиболее легированных жаропрочных сортов этих сталей (типа 10X12В4МФ) до 550-580°C, а менее легированных (типа 10X13 и 20X13) до 350-400°C при сроке службы 10000 ч.

Демпфирующие сплавы конструкционного назначения наиболее целесообразно использовать там, где снижение вибраций имеет существенное значение, например, с точки зрения точности позиционирования определенных элементов конструкций, при этом объектами для применения СВД конструкционного назначения являются вращающиеся узлы: роторы гироскопов, оптических, (в том числе лазерных) устройств, центрифуг, генераторов, компрессоров, сепараторов, насосов и ротационных передач, судовые винты и винты торпед, виброактивные детали автомобилей, детали счетно-решающих и других конторских машин, затворы фото- и кинокамер.), а также опорные или передающие вращение части конструкций (опоры валов, вкладыши подшипников, карданные шарниры) и существенно реже – основания и корпусные детали подобных механизмов.

Т а б л и ц а 2 – Физико-механические свойства сплава «сайленталлэй» [13-15]

Механические свойства	Магнитные свойства
$\sigma_b = 42-45 \text{ кгс/мм}^2$	$T_{пл} = 1520^\circ\text{C}$
$\sigma_{0,2} = 27-32 \text{ кгс/мм}^2$	$T_k = 710^\circ\text{C}$
$\sigma_{-1} = 16-18 \text{ кгс/мм}^2$	$\mu_0 = 1200-1400$
$E = 17500-20200 \text{ кгс/мм}^2$	$H_c = 0,2 \text{ Э}$
$HV = 150$	$\lambda_s = 22 \cdot 10^{-6}$
$\varepsilon = 18-22\%$	$I_s = 1005 \text{ Гс/см}^3 \quad I_r = 414 \text{ Гс/см}^3$

В качестве оценочной характеристики ДС сплавов наиболее общепринятой характеристикой является индекс демпфирования – относительное рассеяние энергии

при амплитуде напряжений, составляющей 0,1 от предела прочности или текучести (как в таблице 1). В инженерной практике металлы и сплавы по уровню демпфирующей способности (ДС) разделяют на низко – ($Q^{-1} 10^3 \leq 5$), средне – ($Q^{-1} 10^3 \approx 5 \div 10$) и высокодемпфирующие или СВД ($Q^{-1} 10^3 \geq 10$).

Полная оценка ДС сплава может быть представлена только графиком амплитудной зависимости относительного затухания.

Необходимость знания амплитудной зависимости относительного затухания обусловлена тем, что эффективность гашения колебаний в деталях машин и конструкций в значительной мере зависит от характера распределения в них напряжений и вида напряженного состояния. Амплитудная зависимость, характерная для выбранного сплава, может быть оптимальной только для определенного случая его применения, зависящего от геометрии конкретной детали, схемы приложения сил, распределения напряжений в детали и условий её эксплуатации.

Исследования показывают, что в области малых амплитуд деформаций величина ДС практически не зависит от напряженного состояния, а в области значительных амплитуд ДС при крутильных колебаниях – намного больше, чем при поперечных изгибных (при одинаковых абсолютных величинах амплитуд напряжений). В сплавах с сильно выраженной амплитудной зависимостью ДС относительное рассеяние при крутильных колебаниях в два раза выше, чем при изгибных. В сплавах с умеренной и незначительной амплитудной зависимостью ДС это отношение меньше.

5 Факторы, оказывающие влияние на свойства СВД Fe-Cr-Al

В общем случае метод поглощения энергии колебаний за счет применения ДС нацелен на получение повышенных значений коэффициента потерь в конструкции.

СВД – это функциональные материалы прецизионного состава, весьма чувствительные к внешним воздействиям. Их нужно рассматривать отдельно как класс функциональных (интеллектуальных) материалов специального назначения.

6 Чувствительность к внешним воздействиям

На всех стадиях производства СВД системы Fe-Cr-Al в материал вложен определённый комплекс специальных свойств. Эти свойства при производстве детали из заготовки могут быть либо сохранены, а иногда даже повышены, но могут быть и безвозвратно утрачены. Зная особенности эстетики производства – последний вариант может быть весьма вероятен, поэтому производство и обработка материалов требует тотального контроля и авторского надзора за соблюдением технологии на всех её этапах.

7 Особенности методик измерения и сравнения результатов испытаний

Как сказано выше, СВД весьма чувствительны к схеме напряженного состояния, ведь затухание колебаний зависит от их структурного состояния и уровня внутренних напряжений. И, к сожалению, именно в таком важном вопросе нет единообразия даже в методиках испытаний и в понимании результатов испытаний по разным методикам (схемы кручения, изгиба, по скорости прохождения ультразвука), применяемым в разных научных школах. Отсюда и результаты, приводимые в литературных источниках, трудно сопоставимы.

Поэтому предварительно очень желательно изучить ряд функциональных особенностей конкретных ДС и учитывать их при расчётах, а не подходить к ним с меркой сопромата, как к обычным конструкционным материалам, тем более, что прямой корреляции между любыми прочностными, пластическими и вязкими, характеристиками с демпфирующей способностью пока не установлено.

Кроме схемы напряжённого состояния, необходимо также учитывать и направление распространения упругих волн, при этом путь прохождения волны через демпфирующий материал должен быть максимально протяжённым и максимально извилистым (желательна многократная смена направления распространения волн).

8 Состояние структуры и границ доменов

Для обеспечения максимальной магнитной мягкости проводят высокотемпературный вакуумный отжиг с целью создания крупнозернистой структуры и минимального уровня внутренних напряжений, что обеспечивает лёгкую подвижность магнитных доменных границ (стенок). Повышение внутренних напряжений различной локальности из-за накопления дефектов в материале снижает потери на магнитоупругий гистерезис за счет уменьшения подвижности границ доменов (ГД). Взаимодействие дефектов кристаллического строения с ГД в каждом конкретном случае осуществляется по определенному механизму, учитывающему тип, концентрацию, топографию дефектов, энергию связи «граница домена – дефект кристаллической решетки». Количество дефектов должно быть минимальным, в этом суть прецизионности состава и технологии, а также сложность твёрдорастворного метода упрочнения легированного феррита.

В связи с этим необходимо разрабатывать такие методы формирования демпфирующих структур, которые бы обеспечили повышение пластических свойств не менее чем в 1,5–2 раза при сохранении их высокой прочности.

В настоящее время для повышения прочностных характеристик материалов широко используется измельчение их структуры, которое является одним из распространенных методов формирования его демпфирующей структуры. В мелком (и особенно, в наноразмерном) зерне будет наблюдаться малый пробег дислокаций, что вызывает и малые поворотные моды деформации. Возникающие при этом на границах зерен небольшие концентраторы напряжений будут эффективно релаксировать даже при малых смещениях в сдвиgoneустойчивой структуре границ.

9 Уровень напряжений и деформаций

Важно правильно оценивать и учитывать при расчётах уровень внешних прикладываемых напряжений (предварительный и реальный) и уровень относительных упругих деформаций, т. к. превышение оптимального уровня напряжений может привести к появлению необратимых микропластических деформаций и, как следствие, к резкому снижению демпфирующих свойств. В связи с высокой чувствительностью магнитных свойств к напряжениям все технологические операции по изготовлению деталей необходимо проводить до окончательной вакуумной термической обработки.

10 Влияние ударных волн и ускорений

Ударные волны, способные приводить к возникновению микропластических деформаций могут полностью погубить способность ДС системы Fe–Cr к демпфи-

ванию, так виброускорения (до 15g) материал выдержал, но при бóльших (30g) потерял способность к демпфированию, хотя сохранял целостность даже при тех условиях, в которых разрушилась сталь 30ХГСА.

11 Характеристики промышленного прецизионного СВД на основе Fe-Cr-Al

Т а б л и ц а 3 – Сравнение данных о прецизионных сплавах высокого демпфирования

Характеристика	Размерность	Величина	
		Fe-Cr-Al марки 15ХЮ–ИД (Россия)	Sientalloy («Тошиба», Япония)
Содержание элемента:	% масс.		
Хром		14,0 – 17,0	12,0
Алюминий		0,5 – 1,5	3,0
Марганец		≤0,10	<0.4
Железо		Остальное	Остальное
Свойство			
σ_b	МПа	≥ 350	350 – 400
δ	%	15 – 20	≥ 20
KCU	Дж/см ²	≥ 20	≥ 7
$Q^{-1} \cdot 10^3$	–	12 – 17	12 – 15

Прецизионные коррозионностойкие магнитномягкие сплавы Fe-Cr являются наименее капризными и наиболее освоенными в промышленном производстве. В тройных сплавах системы Fe-Cr-Al показатели ДС выше, чем в двойных сплавах, многие исследователи объясняют это положительным влиянием алюминия на магнитострикцию. Как видно из таблицы 3 отечественный прецизионный сплав на Fe-Cr-Al основе по функциональным и механическим характеристикам ничем не уступает зарубежному сплаву Sientalloy производства японской фирмы «Тошиба».

Отечественный магнитно-мягкий сплав обладает удовлетворительной технологичностью: подвергается горячей и холодной обработке давлением, пригоден для получения отливок простой и сложной конфигурации, обрабатывается механически, сваривается, поддается другим видам обработки.

Материалу присущи высокая коррозионная стойкость и циклическая трещиностойкость.

Наиболее эффективное гашение энергии колебаний обеспечивает сплав при частотах от 100 до 20000 Гц.

12 Технологии выплавки и последующих переделов СВД

Слитки прецизионных СВД получают в процессе вакуумных переплавов (однократного индукционного переплава – ВИ, или дугового ВД, либо двойного вакуумного переплава по технологии ВИ+ВД).

При этом строго регламентируют не только вредные примеси, но и полезные легирующие добавки, а несоблюдение данных требований и рекомендаций приводит к снижению качества.

13 Основные характеристики СВД марки Fe-Cr-Al

Механические свойства (после высокотемпературной вакуумной Т/О в зависимости от состава и сортамента): $\sigma_b \geq 350$ МПа; $\sigma_{0,2} = 250 - 300$ МПа; $\delta \geq 15 - 20\%$; $\psi = 50-60\%$; КСУ = 25-60 Дж/см². Плотность $\gamma = 7,75$ кг/дм³. Модуль нормальной упругости $E = (175 - 180) \times 10^4$ МПа, модуль сдвига $G = 85 \times 10^4$ МПа.

Эти характеристики (базового марочного состава) целесообразно использовать только для предварительных ориентировочных расчётов, которые будут откорректированы по отобранной конкретной марке материала (плавочный состав), сортаменту и режиму термообработки. Вводить данные в окончательную программу расчётов следует только из сертификата качества.

Демпфирующая способность (после высокотемпературной вакуумной Т/О) в виде обратной добротности $Q^{-1} \times 10^3 \geq 10$ (что соответствует логарифмическому декременту колебаний $\delta \geq 3\%$, а $\psi \geq 6\%$).

При построении зависимости значений $Q^{-1} \times 10^3$ от напряжения σ наблюдается максимум при уровне напряжений около 10-20 Н/мм², что вполне характерно для механизма магнитно-механического затухания.

Интервал рабочих температур, при которых материал сохраняет высокие демпфирующие свойства (при изменении частоты от 10 до 5000000 Гц) находится в пределах от минус 70°C до плюс 500°C.

Технологичность (при механической обработке резанием), свариваемость – материал обладает удовлетворительной технологичностью, подвергается горячей и холодной обработке давлением, хорошо обрабатывается механически (резанием). При механической обработке в качестве инструментальных материалов желательно использовать твердые сплавы группы ТК или безвольфрамовые твердые сплавы следующих марок: КНТ16, ТН20 или ТМ.

Материал удовлетворительно сваривается аргоно-дуговой и электроннолучевой способами сварки.

Коррозионная стойкость – на уровне стали с 16%Cr, что обеспечивает хорошую коррозионную устойчивость. Можно применять для изготовления изделий, работающих при высокой влажности – до 98%, в тропических условиях, при воздействии инея и росы, а также в морском тумане. Скорость коррозии в различных средах, (0,001-0,003) мм/год:

- паровая фаза продукта «Меланж»	0,002
- жидкая фаза продукта «Меланж»	0,003
- газообразный аммиак.	0,002
- 40%-ный раствор КОН при температурах до 110°C	0,0007

СВД используют без защитных покрытий, а также взамен нержавеющей сталей 0X13, 10X13.

Коэффициент термического линейного расширения (КТЛР) в интервалах 20-100; 20-200; 20-300°C соответственно равен (9,6; 9,9; 10,6) $\times 10^{-6}$ град.⁻¹.

Коэрцитивная сила $H_c \approx 0,33$ А/см.

Магнитострикция насыщения $\lambda_s \times 10^{-6} =$ от 15 – 22 (до 60 – 70 при повышенном содержании алюминия).

14 Макетирование и стендовые испытания

И, наконец, получение высокого уровня демпфирования материала в лабораторных образцах, вовсе не гарантирует получения такого же уровня демпфирования в выбранной детали или конструкции. Необходима серьезная конструкторская проработка, которую желательно корректировать с результатами расчётов и принципами, положенными в основу макетирования.

Критерием истины здесь могут служить только стендовые испытания макетов, натуральных образцов или сборочных единиц.

Заключение

Результаты анализа многих исследований свидетельствуют, что пассивное демпфирование колебаний в самом материале в сочетании с активным, конструкционным, является основным направлением создания вибропоглощающих систем.

Как видим, решение задачи создания системы «прецизионный материал» + «прецизионная технология» + «прецизионная конструкция» приближается к своему завершению. Реализация третьей части (реализация принципов конструкторских подходов к созданию конструкции) также частично определены в настоящей статье.

Литература

- 1 Фавстов Ю.К., Шульга Ю.Н. Сплавы с высокими демпфирующими свойствами. – М.: Металлургия, 1973. – 256 с.
- 2 Фавстов Ю.К., Шульга Ю.Н., Рахштадт А.Т. Металловедение высокодемпфирующих сплавов. – М.: Металлургия, 1980. – 272 с.
- 3 Яковлев А.П. Диссипативные свойства неоднородных материалов и смесей. – Киев: Наукова думка, 1985. – 284 с.
- 4 Головин С.А. Структурно-неоднородные высокодемпфирующие материалы. Дислокационная структура в металлах и методы её исследования. – Тула: 1987. – С. 46-54.
- 5 Головин И.С., Головин С.А. Сплавы высокого демпфирования. – Бюлл. н-т инф. Черн. Металлургия. – 1989. – №5. – С.7-30.
- 6 Матвеев В. В. Пробл. прочности, 1980, № 10, 6-16 (РЖМет, 1981, 4И508).
- 7 Вибрации в технике: Справочник. Т. 6. – М.: Машиностроение, 1981. – 456 с.
- 8 Warlimont H. Radex-Rdsch, 1980, № 1-2, 108-114 (РЖМет, 1981 5И885).
- 9 <http://www.patentgenius.com/image/6361740-2.html> – Патент USA. Индексы демпфирования.
- 10 <https://patents.google.com/patent/RU2086943C1/ru> или <http://ru-patent.info/20/85-89/2086943.html> – Патент РФ на Способ определения логарифмического декремента колебаний. (Ссылка на: Авторское свидетельство СССР N 3811020, кл. G 01 N 11/16, 1973. 2. Авторское свидетельство СССР N 600420, кл. G 01 N 11/16, 1978. 3. Криштал М.А., Пигузов Ю.В., Головин С.А. Внутреннее трение в металлах и сплавах. – М.: Металлургия, 1964, с.44.)
- 11 Кекало И. Б. Итоги науки и техники. «Металловедение и терм. обраб.», 7. 1973, 5–88. (РЖМет, 1974, 4И365).
- 12 Bera S. K, Ghosh S. K «Phys. status solidi», 1979, A 52, № 1, 59-63, (РЖМет, 1979, 8И476).

13 Vacrosil O1O, «Draht», 1980, 31, № 10, 743–744 (РЖМет, 1981, ЗИ674).

14 «Stahl und Eisen», 1980, 100, № 5, 231 (РЖМет, 1980, 6И838).

15 Ноби Хирокадзу е. а. Яп. заявка, кл. 10 J 172 (С22 С38/40), № 52-115720, заявл. 25.03.76, № 51-31929, опублик. 28.09.77 (РЖМет, 1978, 8И693).

16 Варакин А.А. Исследование и разработка радиотехнических устройств с демпфирующими вставками (диссертация по специальности 05.12.04).

Крахмалёв Владимир Иванович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: Функциональные сплавы памяти формы и высокого демпфирования, стали и сплавы криогенной техники, прецизионные сплавы, порошковые и композиционные материалы.

Почтовый адрес: 192012, Санкт-Петербург, проспект Обуховской обороны, дом 120.

PRECISION HIGH DAMPING ALLOYS AND EXPERIENCE OF THEIR APPLICATION

The purpose of this publication is to draw the attention of design bureau workers to the possibilities and methods of rational use of structural materials that can effectively damp vibrations, to familiarize them with the features and properties of industrial materials, to help design developers in overcoming random errors in their use in high-precision and vibration-resistant structures.

Keywords: vibrations, damping, internal friction, ferromagnets, damping properties, precision alloys, magnetomechanical construction materials, vibration-resistant structures.

Krakhmalev Vladimir Ivanovich – candidate of technical sciences, senior researcher, St. Petersburg.

Area of expertise: Functional alloys of shape memory and high damping, Steels and alloys of cryogenic engineering, Precision alloys, Powder and composite materials.

УДК 621.9

ТЕНДЕНЦИИ РЫНКА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА ПО ПРИМЕНЕНИЮ СМАРТ-ПОКРЫТИЙ

Грачикова И.В., Грачикова С.В.

С целью принятия решения и минимизации рисков о выборе и применении технологической инновации в обработке металлов резанием рассмотрены основные тренды и тенденции рынка обрабатывающего (металлорежущего) инструмента, предпочтения выбора потребителей, влияние и адаптация к меняющимся условиям внешней среды.

Ключевые слова: обрабатывающий (металлорежущий) инструмент; износостойкие покрытия; смарт-инструмент.

Введение

За последние 30 лет требования к металлообработке путем резания существенно изменились:

1) Доля труднообрабатываемых материалов в машиностроении, которое является основным потребителем обрабатывающего инструмента (далее – ОИ), возросла с 10% до 80%. Увеличились требования к скорости, качеству и производительности обработки [7].

2) Использование современных высокопроизводительных и дорогостоящих металлорежущих станков, оснащенных системами ЧПУ и адаптивного управления, особенно в условиях гибких автоматизированных производств и мехатронных станочных систем, повышает требования, предъявляемые к качеству и надежности режущего инструмента. При этом инструментальный материал должен одновременно обладать достаточным запасом прочности при сжатии и изгибе, приложении ударных импульсов и закономерных напряжений [1, 2].

Данные факторы обуславливают возрастающую необходимость в современном инструменте с улучшенными эксплуатационными характеристиками. С помощью инструмента, обладающего высокими эксплуатационными свойствами, возможно решение большинства технологических задач, стоящих перед отраслью.

1 Определение. Область применения

Обрабатывающий инструмент (ОИ) – это инструмент, используемый для изменения формы, размеров и качества поверхности обрабатываемой заготовки путем удаления части материала в виде стружки, ее шлифования, полирования, доводки, а также пластического деформирования с целью получения готовой детали или полуфабриката.

Предметная область данной статьи (обзора) ограничивается инструментом для обработки различных металлических материалов на металлорежущем оборудовании обрабатывающей промышленности.

Остальные типы инструмента, применяемые в других отраслях, не подлежат рассмотрению в рамках данного обзора, так как они узко специализированы и связаны с конкретными отраслевыми технологиями, в частности:

- 1) инструмент, применяемый в медицинской технике (хирургический и зубопротезный инструмент);
- 2) инструмент, применяемый в горнодобывающей промышленности и дорожном строительстве (буровой инструмент, зубцы строительного-дорожной техники);
- 3) инструмент, применяемый в сельском хозяйстве (сельскохозяйственный режущий инструмент, рабочие органы сельскохозяйственной техники);
- 4) инструмент, применяемый в пищевой промышленности (ножи, дробилки, рабочие органы смесителей).

Для изготовления обрабатывающего инструмента для металлорезания в основном применяют четыре группы инструментальных материалов (инструментальные стали, твердые сплавы, сверхтвердые материалы, режущая керамика), каждая из которых подразделяется на несколько подгрупп. Ни один из этих инструментальных материалов не является универсальным и занимает свою нишу в соответствии с показателями вязкости, прочности, износостойкости и твердости.



Рисунок 1 – Группы инструментальных материалов [7]

Обрабатывающий инструмент можно условно разделить на 4 глобальные продуктовые группы, объединенные по принципу общности эксплуатационных, конструктивных особенностей и технологических подходов:

- а) лезвийный режущий инструмент (резцы, сверла, фрезы, развертки, протяжки, зенкеры и др.):

- монолитный быстрорежущий инструмент;
 - монолитный твердосплавный инструмент;
 - составной твердосплавный инструмент;
 - сборный твердосплавный инструмент;
 - сборный инструмент из сверхтвердых материалов (далее – СТМ) и керамики;
 - составной инструмент из СТМ.
- б) шлифовальный инструмент (шлифовальные круги, ленты, пасты, суспензии, режущая проволока):
- шлифовальный инструмент из абразивных материалов;
 - шлифовальный инструмент из сверхтвердых материалов (СТМ);
 - пасты, порошки и суспензии из СТМ.
- в) деформирующий инструмент (штампы, дорны, волокни, ролики, фильеры):
- штампы, пресс-формы, ролики и фильеры из инструментальной стали;
 - штампы, пресс-формы, ролики и фильеры из твердого сплава;
 - ролики и фильеры из СТМ.
- г) инструмент для новых методов обработки:
- электроды и проволока для электроэрозионной и электрохимической обработки;
 - сопла и форсунки для гидроабразивной и газоплазменной обработки;
 - лазеры высокой мощности.



Рисунок 2 – Структура ОИ по группам [4, 7]

Первая группа занимает наибольшую долю по численности и распространенности применения (~65%) – она является традиционным видом ОИ для металлообработки резанием.

Для существенного увеличения производительности ОИ и повышения его качества необходим комплекс мероприятий, направленных на решение ключевых технологических задач. Основные усилия сосредоточены на:

- 1) получении новых инструментальных материалов;
- 2) нанесении специализированных покрытий на поверхность инструмента и модификация поверхности;

3) наноразмерной обработки и новой технологии конструкции инструмента.

При этом следует учитывать, что высокотехнологичные инструменты (полученные из новых инструментальных материалов, в т.ч. изготовленные с использованием нанотехнологий) будут однозначно дороже по сравнению с традиционными, а значит, могут быть востребованы и экономически эффективны только при применении на соответствующем дорогостоящем оборудовании.

Очевидно, что все мероприятия призваны решить вопросы увеличения прочности, твердости, теплостойкости и износостойкости инструментальных материалов. Однако только нанесение спец покрытий (например, путем термоплазменной обработки поверхности) комплексно решает вопросы увеличения стойкости ОИ и сокращения затрат на производство, при одновременном повышении точности и качества поверхностного слоя обрабатываемых деталей. И это без отказа от использования традиционных ОИ и модернизации основных средств производства!

Т.е. нанесение износостойких структурных покрытий и модификация поверхностного слоя ОИ относятся к наиболее преимущественной по скорости и экономии внедрения технологии, а значит и одним из наиболее эффективных способов получения обрабатывающего инструмента, отвечающего современным требованиям металлообработки (точения).

2 Износостойкие покрытия в инструментальном производстве

Износостойкое покрытие – слой материала (как правило, химического соединения тугоплавких металлов) на поверхности инструментальной основы, который отличается по своим кристаллохимическим, физико-механическим и теплофизическим свойствам от соответствующих свойств основы.

Назначение износостойкого покрытия – повышение периода стойкости режущего инструмента путем увеличения микротвердости, коррозионной стойкости и термодинамической устойчивости поверхностного слоя, а также снижения фрикционного взаимодействия (коэффициента трения) режущего инструмента и обрабатываемого материала.

Т.е. нанесение покрытия практически на любой традиционный ОИ из быстрорежущей или твердосплавной стали, способно совершенствовать его свойства, приблизив к улучшенному соотношению свойств твердости/износостойкости к вязкости/пластичности.

3 Тенденции рынка инструментальных материалов

По данным глобальной аналитической компании Frost&Sullivan [8] на сегодняшний день, самым распространенным инструментальным материалом как в мире, так и в РФ является твердый сплав, занимающий более 2/3 рынка. Однако за последние несколько лет использование твердосплавного инструмента снизилось на 8%. К числу инструментальных материалов, применение которых существенно увеличилось, относятся сверхтвердые материалы (СТМ): кубический нитрид бора (рост с 2 до 5%) и поликристаллический алмаз (рост 4-9%). Практически на прежнем уровне остается и производство керамики (~10%).

Однако в среднесрочной перспективе на отечественном рынке не ожидается существенного прироста долей инструментальных материалов из СТМ и керамики

вследствие их дороговизны и сложной дорогостоящей технологии получения (во втором случае спекание керамики) [5,6].

Ожидается, что основное развитие по изменению свойств материалов будет происходить в области совершенствования качества доступных сплавов для ОИ, какой, например, является изготовление смарт-инструмента, в т.ч. и с помощью термopлазменной обработки.

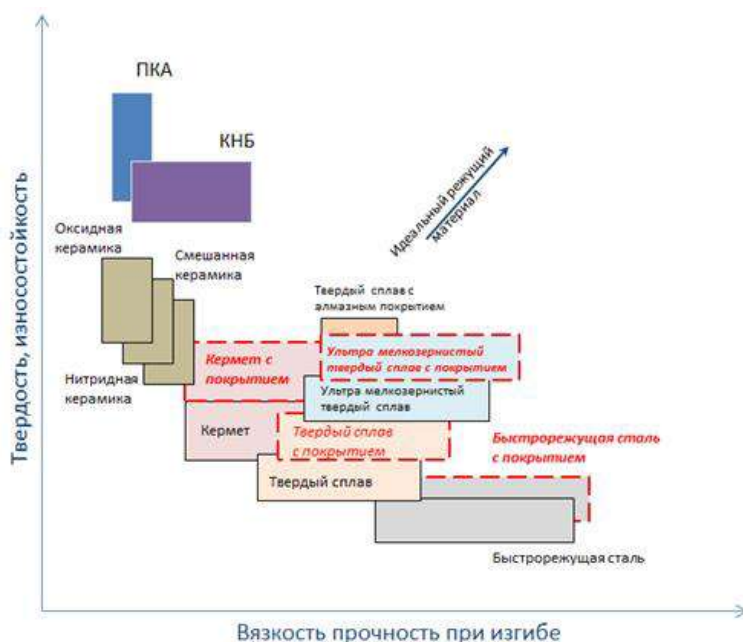


Рисунок 3 – Соотношение ключевых параметров вязкости/твердости и износостойкости материалов [3, 4]

Причиной роста производства и применения измененных (усовершенствованных) инструментальных материалов заключается в увеличении использования в промышленности широкой гаммы труднообрабатываемых материалов, появлении новых композитных материалов, которые зачастую требуют применение высокоскоростных режимов металлообработки. Помимо этого многие машиностроительные предприятия всё больше используют новые прогрессивные технологии металлообработки – «твердое точение», «сухая обработка» (без СОЖ) и высокопроизводительную обработку (изготовление деталей высочайшего качества при трохoidalном фрезеровании) твердых материалов. Ожидается, что данная тенденция сохранится и на долгосрочную перспективу.

Необходимо подчеркнуть, что качественное улучшение свойств материалов ОИ путем нанесения специальных покрытий нацелено на повышение эффективности металлообработки. Безусловно, изменение свойств традиционного используемого инструмента приведет к его удорожанию, но в итоге приведет к значительному снижению издержек производства, поскольку произойдет увеличение конечной производительности при снижении закупки расходных материалов (инструмента) в количественных показателях.

4 Мировые тренды рынка металлорежущего обрабатывающего инструмента

Согласно аналитическому отчету Market Research Future (MRFR), в 2020 г. мировой рынок металлорежущего инструмента оценивался в 82 млрд \$. Ожидается, что к 2028 г. его объём достигнет 110 млрд. \$ со среднегодовым темпом роста 6,7% в течение этого периода [8].

Ключевые точки роста мирового рынка:

- увеличение спроса со стороны аэрокосмической, оборонной, и, главное, автомобильной промышленности;

- развитие аддитивного производства, промышленной автоматизации, компьютерного управления посредством ЧПУ и автоматизированного производства.

Ожидается, что территориально в качестве лидера выступит Азиатско-Тихоокеанский регион, поскольку рост их оборонной, автомобильной и промышленной сфер экономики даст мощный толчок в развитии рынка металлорежущего инструмента.

Среди факторов, сдерживающих рост мирового рынка металлорежущего инструмента можно выделить: колебание цен на сырьё, и изначально высокая стоимость самого инструмента, наряду с высокими затратами на эксплуатацию и техобслуживание.

5 Российский рынок металлорежущего инструмента

В России рынок металлорежущего инструмента представлен довольно разнообразно и по географии, и по цене – от бюджетных вариантов из Китая до премиум-класса из стран Европы и США. По экспертным оценкам в 2020 г. около 60% занимала доля продукции отечественных предприятий. Относительно недавно, в начале 2000-х, импорт составлял порядка 90% [8].

Такое перераспределение произошло вследствие проводимой в стране политике импортозамещения. Так, в соответствии с постановлением Правительства РФ от 30 апреля 2020 г. № 616 установлен запрет на допуск перечня промышленных товаров, происходящих из иностранных государств (за исключением государств-членов ЕАЭС), для целей осуществления закупок для государственных и муниципальных нужд. Безусловно, регуляторная политика не подразумевает полное отсутствие импорта, однако, такого рода меры поддержки отечественного производителя инструмента подстегивают пострадавшую от сложной экономической ситуации (из-за пандемии и СВО) российскую промышленность.

По данным DISCOVERY Research Group объём рынка металлообрабатывающего инструмента в России в 2022 г. составил \$ 470 000 тыс. или около 35 млрд. руб. [8].

Объём производства металлообрабатывающего инструмента в России в 2022 г. составил \$ 96 000,0 тыс. или 7,5 млрд. руб. Т.е. доля отечественного ОИ по итогам 2022 г. составляет порядка 20%, соответственно импорт 80%. Ситуация примерно такая же, как и в начале 2000-х. Объём экспорта металлообрабатывающего инструмента из России в 2022 г. составил \$ 2 500 тыс. или около 200 млн. руб.

Действия регуляторных норм [6], в том числе и Постановления правительства РФ от 7 марта 2019 года № 239 «Об установлении запрета на допуск отдельных видов товаров станкоинструментальной промышленности, происходящих из иностранных государств, для целей осуществления закупок для нужд обороны страны и безопасно-

сти государства», призваны ужесточать для промышленников условия закупок импорта, в том числе инструмента. Однако отрасль продолжает нуждаться в дополнительной работе по согласованию различных запретительных постановлений с Федеральным законом от 19.07.2011 №223-ФЗ «О закупках товаров, работ, услуг отдельными видами юридических лиц», который, не противоречит свободной торговле в России, и с Федеральным законом от 05.04.2013 №44-ФЗ «О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд».

Конкуренция между российскими и зарубежными производителями металлорежущего ОИ в РФ практически отсутствует по разным причинам:

- большинство иностранных поставщиков ОИ сосредоточены на своих заказчиках, как правило, крупных предприятиях, которые обладают современным оборудованием и требующие, соответственно, инструмент высокого качества;

- российские производители в основном поставляют продукцию на предприятия с «изношенным» станочным парком, в большей степени это простой напайный инструмент.

6 Ключевые производители обрабатываемого инструмента

Традиционно на российском рынке твердосплавный инструмент практически на 100% импортный [6,8].

Основные импортные производители твердосплавного металлорежущего инструмента: Seco (Ю.Корея), Sandvik Coromant (Швеция), Kennametal (США), Widia (Германия), Walter (Германия), Vargus (Израиль), Iscar (Израиль), Guhring (Германия), Mitsubishi (Япония), Dormer&Pramet (Чехия), TaeguTec (Ю. Корея), Arno (Франция), Tungaloy (Япония), Korloy (Ю.Корея), ZCC (Китай), YG-1 (Китай).

Крупнейшими производителями металлообрабатываемого инструмента в РФ являются: ЗАО НИР, Новая Инструментальная Технология (Специнструмент), Белгородский завод фрез и специнструмента, АО ИТО Туламаш, ООО НПК Томский инструмент (Томский инструментальный завод), Свердловский инструментальный завод, АО Инструментальный завод-Пермские моторы, АО Воткинский завод, ПО Волжский инструмент, Московский инструментальный завод, ООО Вириал, ОАО Кировградский завод твердых сплавов и ООО СКИФ-М.

В связи с началом СВО в начале 2022 г. и официальным уходом некоторых иностранных компаний с российского рынка, ожидалось структурное перераспределение основных игроков, увеличение доли продаж китайского оборудования, однако ведущие европейские игроки, очевидно не желая отказываться от ощутимой выручки, которую зарабатывали на российском рынке, продолжают поставлять инструмент обходными путями («серый импорт»), в основном через Турцию или Индию. То есть можно считать, что пул основных игроков на рынке изменился незначительно. Китайский же инструмент в большой степени предлагает реплику ОИ, выгодно используя ситуацию для продвижения своих товаров.

7 Общие выводы

Металлообработка в России является одним из перспективных направлений развития промышленности. Она включает в себя вторичную переработку металлов и

производство новых металлических изделий для обеспечения, в том числе, других отраслей.

Несмотря на высокий спрос на продукцию металлообрабатывающих предприятий, эта сфера в России значительно отстает в развитии от своих западных конкурентов. Для исправления ситуации российским производителям необходимо повышать эффективность деятельности и конкурентоспособность продукции. А нарастающие темпы освоения разнообразных технологических процессов, методов обработки металлов и операций только усугубляют ситуацию. Требуется собственные современные подходы и технологии для решения вопросов организации процесса производства и необходимости повышать эффективность. Чтобы конкурировать на собственном рынке с представителями глобальных мировых компаний в сфере металлообработки, затраты на разработку должны быть сведены к абсолютному минимуму. Необходимо не только искать пути сокращения финансовых затрат, но и добиваться экономии времени на совершение ненужных действий в процессе изготовления продукции. Таким решением может стать освоение и распространение технологий смарт-покрытия металлорежущего инструмента, например, с помощью термо-плазменной обработки.

Несмотря на то, что развитию инструментальной отрасли в России препятствует ряд негативных факторов:

- износ текущего парка технологического оборудования;
- невысокий уровень отечественного станкостроения для производства конкурентоспособного режущего инструмента;
- недостаток квалифицированных кадров;
- технологическое отставание от импортных лидеров;
- существенная конкуренция со стороны иностранных производителей, в последнее время в большей степени с китайским инструментом;
- существенные барьеры вхождения из-за сильных конкурентных позиций импортного инструмента;
- преодолевать их необходимо, поскольку станкоинструментальная промышленность в РФ является базовой фондообразующей отраслью, которая во многом характеризует уровень развития машиностроения в целом и определяет технологическую безопасность и независимость страны.

Одним из путей решения может стать создание центров компетенций по вопросам инструментального обеспечения, которые смогут реализовать мероприятия, направленные на развитие станкоинструментальной промышленности:

- 1) производство отечественного технологического оборудования;
- 2) производство высококачественного твердого сплава для ОИ;
- 3) применение технологий, качественно улучшающих свойства инструментов из быстрорежущей стали (самого распространенного материала ОИ в РФ), которые смогут стать лучшей альтернативой дорогому импортному твердосплавному ОИ.

Необходимо отметить, что освоение российским производством современных технологий и компетенций, как например смарт-покрытия ОИ, должны проводиться при регуляторной поддержке государства, а именно: постепенное ужесточение политики ввоза и квотирования импорта в РФ иностранного ОИ и технологий с учетом положительной динамики развития собственного отечественного высокотехнологичного производства.

Закключение

На основе проведенного обзора тенденций инструментальной отрасли, в частности металлорежущего ОИ, а также с учетом меняющейся геополитики, которая в данной отрасли является одним из наиболее значимым внешним фактором (необходимость реального импортозамещения), структурно влияющей на рынок ОИ, было установлено, что существуют значимые благоприятные предпосылки для комплексной реализации проектов как по созданию и развитию отечественных инструментальных производств, так и современных технологий смарт-покрытий ОИ.

При этом складывающаяся конъюнктура рынка в целом способствует появлению новых отечественных игроков-производителей, это возможно вследствие:

1) ухода с рынка РФ иностранных производителей, основных поставщиков ОИ, что открывает возможности для успешного сбыта востребованной продукции;

2) растущего спроса на промышленную продукцию российского происхождения в среднесрочной перспективе;

3) роста инвестиций в основной капитал и роста оптимизма в промышленности, роста реального ВВП и нарастающего процесса «структурной трансформации» промышленности (по данным Агентства АКРА /прогнозирование Правительства РФ).

Дальнейшее развитие проекта отечественного промпредприятия видится по двум этапам:

I Этап. Оптимизация собственного производства. Промышленное предприятие осваивает производство различного типа и вида металлорежущего обрабатывающего инструмента, а также смарт-технологии по улучшению качеств долговечности и резания ОИ для собственных нужд (оптимизация потребления ОИ в качестве расходных материалов для металлорежущего оборудования);

II Этап. Коммерциализация деятельности предприятия. Промышленное предприятие на своих мощностях размещает заказы сторонних организаций как по изготовлению ОИ, так и повышения свойств инструмента заказчика с помощью технологии смарт-покрытия (оказание услуг).

С целью реализации проектов реального импортозамещения в РФ еще в 2015 г. был создан Фонд развития промышленности (ФРП) для поддержки предприятий путем выдачи льготных кредитов. У ФРП есть две структуры: федеральная (инвестиционные проекты свыше 100 млн. руб.) и региональная (инвестпроекты до 100 млн. руб., существуют в каждом субъекте РФ). Фонд развития промышленности предлагает льготные условия финансирования проектов, направленных на разработку новой высокотехнологичной продукции, импортозамещение, лизинг производственного оборудования, станкостроение, цифровизацию действующих производств, выпуск предприятиями ОПК высокотехнологичной продукции гражданского или двойного назначения, производство комплектующих, маркировку товаров и повышение производительности труда. Для реализации новых промышленных проектов Фонд предоставляет целевые займы по ставкам 1% и 3% годовых сроком до 10 лет в объеме от 5 млн. до 5 млрд. рублей (в рамках основных программ финансирования), стимулируя приток прямых инвестиций в реальный сектор экономики.

Наиболее популярными программами финансирования Фонда и другими мерами господдержки Минпромторга РФ являются:

- Специальный инвестиционный контракт (СПИК);

- Постановление Правительства (ППРФ) №719 – подтверждение производства промышленной продукции на территории РФ;

- Постановление Правительства (ППРФ) №1649 – субсидии на компенсацию части затрат НИОКР по современным технологиям в рамках реализации инновационных проектов;

- Постановление Правительства (ППРФ) №1570 – промышленная ипотека на суммы до 500 млн. руб. по ставкам 3% годовых для технологических компаний и 5% годовых для иных заемщиков сроком до 7 лет.

Представленное исследование относится к инициативным исследованиям рынка, поскольку самостоятельно инициировано его проведение, сформулирована тема, выбрана методология проведения и результаты представляются всем заинтересованным лицам. Основное предназначение инициативного исследования является ознакомление участников рынка – производителей, клиентов и всех заинтересованных лиц с текущей рыночной ситуацией, событиями прошлых периодов и будущими предпочтениями.

В данном исследовании данные из:

1. Печатных и электронных деловых и специализированных изданий, аналитических обзоров.

2. Ресурсов сети Интернет в России и мире.

3. Материалы участников отечественного и мирового рынков.

4. Результаты исследований маркетинговых и консалтинговых агентств:

- DISCOVERY Research Group;

- Market Research Future (MRFR);

- Frost&Sullivan.

Литература

1 Революционные разработки производителей металлорежущего инструмента 2019-2020 // Все регионы. – 2020. – № 3 (110). – С. 21-29.

2 Подолянец П.Б. Режущий инструмент с rvd-покрытием, задачи и пути их решения // Современная техника и технологии. – 2014. – № 6.

3 Онлайн-выставка Enex // «О рынке металлорежущего инструмента» 03.02.2023 к эл. адресу: <https://enex.market/news/o-rynke-metallorzhushchego-instrumenta/?ysclid=lfnsbb2p8845592340> (дата обращения: 04.04.2023).

4 Единый промышленный электронный портал Сибири // «Металлорежущий инструмент: в поисках нового», №152 сентябрь 2020 к эл. адресу: <https://epps.ru/journal/detail.php?id=2282&ysclid=lfseqsit31206407135>.

5 Верещака А.С. Технологические производственные среды: анализ тенденций совершенствования // Вестник МГТУ Станкин. – 2011. – № 1. – С. 21-29.

6 Концепция развития инструментальной отрасли РФ. – АО «Станкопром», 2011.

7 Дорожная карта ГК «Роснано ГК» // «Использование нанотехнологий для создания высокоэффективного обрабатывающего инструмента», Москва, 2010.

8 Официальные сайты организаций производителей режущего инструмента и маркетинговых и консалтинговых агентств.

Грачикова Ирина Владимировна – руководитель группы стратегического маркетинга, АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: автомобилестроение, металлорежущие станки и инструменты, общепромышленная продукция (машиностроение, тяжелое машиностроение).

E-mail: i.grachikova@goz.ru

Грачикова Софья Владимировна – студент Северо-Западного института управления РАНХиГС, г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: рыночная аналитики, устойчивость предприятия.

E-mail: grachikovasofia21@gmail.com

Почтовый адрес: 192012, Санкт-Петербург, проспект Обуховской обороны, дом 120.

TRENDS IN THE MARKET OF METAL CUTTING TOOLS ON THE APPLICATION OF SMART COATINGS

In order to make a decision and minimize risks on the choice and application of technological innovation in metal cutting, the main trends in the market for machining (metal cutting) tools, consumer choice preferences, influence and adaptation to changing environmental conditions are considered.

Keywords: processing (metal-cutting) tool; wear-resistant coatings; smart tool.

Grachikova Irina Vladimirovna – Head of strategic marketing (product planning) Engineering Center JSC «Obukhov Plant», St. Petersburg.

Specialization in marketing: automotive industry, machine tools and tools, general industrial products (engineering, heavy engineering).

Grachikova Sofya Vladimirovna – student of the North-Western Institute of Management, RANEPA, Faculty of Finance and Economics, specialization in strategic management, St. Petersburg.

Research interests: finding answers and solutions to a rapidly changing external environment using market analytics, which will ensure the sustainability of the enterprise.

УДК 511.313

МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ РЯДОВ ПРОСТЫХ И СОСТАВНЫХ ЧИСЕЛ ПУТЁМ ПРЯМЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ. СТРУКТУРЫ РЯДОВ ПРОСТЫХ И СОСТАВНЫХ ЧИСЕЛ И СВЯЗАННЫХ С НИМ РЯДОВ

Буянов Е.В.

Изложен «метод Буянова» прямых вычислений составных и простых чисел. Метод позволяет построить ряды (последовательности) простых чисел и системы производных от него рядов в виде ряда составных чисел как «выпадающего из нечётного ряда чисел» ряда составных чисел и составить другие производные ряды. Это упорядоченные ряды номеров простых чисел и номеров ряда произведений и рядов разложений членов нечётного ряда на элементарные делители. Метод сводится к простым математическим и логическим операциям, которые легко реализуются в программах для ЭВМ. Построение алгоритма вычислений уже на начальных значениях числовых рядов позволяет проследить закономерности их образования и развития от малых до больших значений.

Ключевые слова: простые числа; ряд чисел; метод вычисления; произведение чисел; алгоритм вычисления.

Суть метода состоит в последовательном вычислении составных чисел в виде «выпадающего ряда составных чисел» (ВРСЧ) из произведений ряда нечётных чисел на отрезок ряда простых чисел с номерами до натурального номера нечётного числа. Причём из перемножаемых рядов чисел исключены число 2 (как чётное число) и число 1 – для исключения «тривиального повторения» простых чисел в виде их произведения на 1. Поскольку среди составных чисел-произведений уже отсутствуют произведения простых чисел на 1, простые числа находятся в ВРСЧ на месте пустых позиций нечётных чисел, которые не могут быть построены, как составные произведения нечётных чисел на простые числа. Параллельно с вычислением простых чисел построение ВРСЧ позволяет выполнить «факторизацию» (или «канонические разложения») нечётных составных чисел, т.е. определить их разложения на простые сомножители согласно выводу основной теоремы арифметики (ОТА).

По ОТА любое составное или простое нечётное число представимо в виде произведения простых нечётных чисел или в виде простого числа.

Так что структура составных чисел определена в общем случае, как произведение составного или простого нечётного числа на простое число. А структура ряда простых чисел – как пустые места в ряду нечётных чисел, не заполненные составными числами-произведениями. Выпадающий ряд простых чисел (ВРПЧ) строится на пропусках ВРСЧ в позициях нечётных чисел. А ряды составных (РСЧ) и простых чисел (РПЧ) по их натуральным номерам строятся «уплотнением» ВРСЧ и ВРПЧ сдвигом до их последовательных натуральных позиций влево «до упора» в меньшее вы-

численное число. Структура виртуально вычисляемой матрицы составных чисел-произведений для начальных значений показана в таблице 1, а структуры ВРСЧ, ВРПЧ, РСЧ, РПЧ – в таблице 2 (вместе с обозначениями рядов в примечании). По оси ординат в таблице 1 – ряд простых чисел p_k (а сверху – их натуральные номера), отрезки которого используются для построения строк МП. По оси абсцисс – ряд нечётных чисел m_i , на которые умножают простые числа $m_i \times p_k$ до натурального номера нечётного числа $i=k$ (а столбец МП слева – натуральные номера нечётных чисел). На главной диагонали МП – произведения нечётных и простых чисел с равными натуральными номерами. Интервалы заполнения текущих строк МП отмечены одинаковым цветом клеток. Если заполнены позиции всех чисел этих клеток, – то заполнены все позиции составных чисел до диагонального произведения текущей строки МП, а все произведения ниже текущей строки больше её максимального диагонального произведения. Интервалы заполнения строк показаны справа – от интервала предыдущей строки до интервала текущей строки. В верхней части МП справа показаны в скобках последовательности простых чисел, определяемых на интервалах начальных строк МП. Расчёт производится сквозным вычислением элементов строк МП с заполнением в виде результатов рядов составных чисел между последними строками заполнения текущей и предыдущей строк. Причём и с факторизацией составных чисел в виде произведений простых упорядоченных по нарастанию сомножителей. И с заполнением отрезка ряда простых чисел тогда, когда ряд составных чисел заполняется полностью на интервале текущей строки и на нём можно выделить простые числа на месте пропусков чисел нечётного ряда. Окончательно результат на интервале строки получается, когда на нём определены и все простые числа, и все составные числа с их факторизацией. А также выполнены предварительные условия для заполнения следующей строки МП. Помимо вычислений чисел в строках ниже текущей строки на интервале заполнения строк, надо заполнять и столбцы ниже следующего за текущей строкой значения простого числа с номером $k+1$, причём заполнять столбцы надо от текущей строки до последней строки заполнения, а не между последними строками заполнения текущей и предыдущей строк.

С целью исключения значительной части повторов при вычислениях чисел с одинаковым набором простых сомножителей, произведения в правой части МП не вычисляются. Но они вычисляются (и это легко доказать) в различных строках левого «треугольника» МП из-за перестановки сомножителей. При исследовании чисел-произведений допустимы переходы между строками МП с заменой простых сомножителей на простые сомножители ряда нечётных чисел. Прямые замены нечётных и простых сомножителей невозможны из-за отсутствия составных чисел в ряду простых сомножителей. Но допустимы замены простых сомножителей на простые сомножители из факториальных разложений составных нечётных чисел (в компактной записи показатели степени исполняют роль, и разделителей чисел, и знаков умножения, а показатель 1 при старшем простом числе не обязателен)

$$\begin{aligned} r_{ab} &= a \times b = m_i \times p_j = p_{k1}^{t1} \times p_{k2}^{t2} \times p_{k3}^{t3} \times \dots \times p_{ku}^{tu} = \\ &= p_{k1}^{t1} p_{k2}^{t2} p_{k3}^{t3} \dots p_{ku}^{tu} . \end{aligned} \quad (1)$$

В случае повторов чисел-произведений из-за перестановок чисел и строк МП без изменения значения числа, – достаточно такое число вычислить один первый раз (в наиболее высокой строке), а при последующих вычислениях или не вычислять, или

Таблица 1 – Произведения до № 27 членов нечётного ряда (до 53 – это 27-е нечётное число) и ряда простых чисел до 101 (27-е простое число) – ленты произведений с выделением чисел заполнения текущих строк

Номера в ряде	Раз лож ен в неч ёт ное чис ло	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
1	1	1	3	5	7	11	13	17	19	23	29	31	37	41	43	47	53	59	61	67	71	73	79	83	89	97	101	103
2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
3	3	9	15	21	28	36	45	55	67	81	99	121	147	177	213	255	303	357	417	483	555	633	717	807	903	1005	1113	1227
4	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185	195	205	215	225	235	245	255	265	275
5	7	21	35	49	63	77	91	105	119	133	147	161	175	189	203	217	231	245	259	273	287	301	315	329	343	357	371	385
6	9	27	45	63	81	99	117	135	153	171	189	207	225	243	261	279	297	315	333	351	369	387	405	423	441	459	477	495
7	11	33	55	77	99	121	143	165	187	209	231	253	275	297	319	341	363	385	407	429	451	473	495	517	539	561	583	605
8	13	39	65	91	117	143	169	195	221	247	273	299	325	351	377	403	429	455	481	507	533	559	585	611	637	663	689	715
9	15	45	75	105	135	165	195	225	255	285	315	345	375	405	435	465	495	525	555	585	615	645	675	705	735	765	795	825
10	17	51	85	119	153	187	221	255	289	323	357	391	425	459	493	527	561	595	629	663	697	731	765	799	833	867	901	935
11	19	57	95	133	171	209	247	285	323	361	399	437	475	513	551	589	627	665	703	741	779	817	855	893	931	969	1007	1045
12	21	63	105	147	189	231	273	315	357	399	441	483	525	567	609	651	693	735	777	819	861	903	945	987	1029	1071	1113	1155
13	23	69	115	161	207	253	299	345	391	437	483	529	575	621	667	713	759	805	851	897	943	989	1035	1081	1127	1173	1219	1265
14	25	75	125	175	225	275	325	375	425	475	525	575	625	675	725	775	825	875	925	975	1025	1075	1125	1175	1225	1275	1325	1375
15	27	81	135	189	243	297	351	405	459	513	567	621	675	729	783	837	891	945	999	1053	1107	1161	1215	1269	1323	1377	1431	1485
16	29	87	145	203	261	319	377	435	493	551	609	667	725	783	841	899	957	1015	1073	1131	1189	1247	1305	1363	1421	1479	1537	1595
17	31	93	153	217	281	345	409	473	537	601	665	729	793	857	921	985	1049	1113	1177	1241	1305	1369	1433	1497	1561	1625	1689	1753
18	33	99	165	231	297	363	429	495	561	627	693	759	825	891	957	1023	1089	1155	1221	1287	1353	1419	1485	1551	1617	1683	1749	1815
19	35	105	175	245	315	385	455	525	595	665	735	805	875	945	1015	1085	1155	1225	1295	1365	1435	1505	1575	1645	1715	1785	1855	1925
20	37	111	185	259	329	403	477	551	625	699	773	847	921	995	1069	1143	1217	1291	1365	1439	1513	1587	1661	1735	1809	1883	1957	2031
21	39	117	195	273	349	429	507	585	663	741	819	897	975	1053	1131	1209	1287	1365	1443	1521	1599	1677	1755	1833	1911	1989	2067	2145
22	41	123	205	287	371	453	533	613	693	773	853	933	1013	1093	1173	1253	1333	1413	1493	1573	1653	1733	1813	1893	1973	2053	2133	2213
23	43	129	215	301	387	473	559	645	731	817	903	989	1075	1161	1247	1333	1419	1505	1591	1677	1763	1849	1935	2021	2107	2193	2279	2365
24	45	135	225	315	405	495	585	675	765	855	945	1035	1125	1215	1305	1395	1485	1575	1665	1755	1845	1935	2025	2115	2205	2295	2385	2475
25	47	141	235	329	423	517	611	705	799	893	987	1081	1175	1269	1363	1457	1551	1645	1739	1833	1927	2021	2115	2209	2303	2397	2491	2585
26	49	147	245	343	439	539	637	735	833	931	1029	1127	1225	1323	1421	1519	1617	1715	1813	1911	2009	2107	2205	2303	2401	2499	2597	2695
27	51	153	255	357	461	561	663	767	867	969	1071	1173	1275	1377	1479	1581	1683	1785	1887	1989	2091	2193	2295	2397	2499	2601	2703	2805
28	53	159	265	371	473	583	689	791	893	995	1097	1219	1321	1423	1525	1627	1729	1831	1933	2035	2137	2239	2341	2443	2545	2647	2749	2851

Примечание: Жирно выделены числа, имеющие повторы (п) на данном фрагменте МП и сами повторы – в круглых скобках. «Уп» – число повторов в строке (правый столбец). Общее количество повторов в фрагменте МП: 38 превышает количество простых чисел-родителей: 27. Но оно значительно меньше количества простых чисел 721, определяемых на интервалах до 27-й строки – до числа 5459. Асимптотически при увеличении чисел-родителей количество повторов предположительно равно количеству определённых простых чисел по количеству позиций в МП, освобождаемых повторами для простых чисел.

Таблица 2 – Таблица «протяжки» членов выпадающего ряда с выделением сомножителей и определением простых чисел протяжкой ряда нечётных чисел

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
m	1	3	5	7	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65
$s \rightarrow$					9			15		21		25	27			33	35	39					45		49	51		55	57		63	65	
a				3			3		3		3		5	9			3	5	3				9		7	3		5	3		9	5	
b				3			5		7		7		5	3		11	7	13				5		7	17		11	19		7	13		
r				3 ²			3 ¹⁵		3 ¹⁷		3 ¹⁷		5 ²	3 ³		3 ¹¹ 1 ¹ 5 ¹ 7	3 ¹³					3 ²⁵		7 ²	3 ¹⁷		5 ¹ 11 ¹ 3 ¹ 19		3 ² 7 ⁵ 1 ¹ 3				
\underline{S}	9	15	21	25	27	33	35	39	45	49	51	55	57	63	65	69	75	77	81	85	87	91	93	95	99	105	111	115	117	119	121	123	125
p	1	3	5	7		11	13		17	19	23		29	31		37	41	43		47		53								61			
$\overline{p}(s)$		1, 3	7		11		13		17	19	23		29	31		37	41		43		47		53						59				
$p(n)$	1	3	5	7	11	13	17	19	23	29	31	37	41	43	47	53	59	61	67	71	73	79	83	89	97	101	103	107	109	113	127	131	137
$\underline{N}pr$	1	2	3	4		5	6		7	8	9		10	11		12		13	14		15		16		17	18							
$\underline{N}ps$					1			2		3		4	5		6	7	8		9		10	11		12	13		14	15					

n – натуральный номер чисел нечётного ряда n ; $m = 2 \times n - 1$ – число нечётного ряда чисел;

s – ряд произведений чисел нечётного ряда a на числа ряда простых чисел b (s – выпадающий ряд составных чисел – ВРСЧ) – результат протяжки ряда произведений с числа 9;

\underline{S} – ряд произведений чисел нечётного ряда a на числа ряда простых чисел b (\underline{S} – ряд составных чисел – РСЧ) – результат уплотнения-сжатия ряда произведений РСЧ с числа 9;

r – ряд разложения членов ряда составных чисел-произведений s на элементарные сомножители простых чисел и их степеней;

p – выпадающий ряд простых чисел (ВРПЧ) – в своих позициях нечётных чисел;

$p(s)$ – простые числа, найденные на интервалах – пропусках простых чисел (их отсутствия в ряде произведений) s – интервалы отмечены объединением ячеек в двух строках таблицы, причём простое число «прижат» к правой границе интервала, на котором оно находится;

$p(n)$ – ряд простых чисел в зависимости от натурального номера n – результат протяжки ряда простых чисел с учётом первых чисел ряда: 1, 3, 5, 7.

$\underline{N}pr$ – натуральный порядковый номер простого числа p в ряду простых чисел (РПЧ) \underline{S} .

$\underline{N}ps$ – натуральный порядковый номер составного числа S (относительно натурального ряда чисел в первой строке матрицы, начиная с $n=1$).

обходить операцию заполнения «клетки числа», если она уже заполнена. Случаи повторов для различных значений сомножителя b (простых p_j, p_k) и $a=c \times d$ (нечётных a со старшим простым числом d и составным или простым c в разложении) приведен ниже в таблице 4.

Разделители сомножителей составных чисел – показатели их степени, – в то же время являются и знаками перемножения этих чисел. При этом степень старшего простого сомножителя не ставится, если она равна единице. Разделители между числами необходимы, иначе все цифры сомножителей будут «сливаться» в одно число с непонятным разложением на сомножители. Показатель степени «единица», естественно, применяется для чисел в первой степени, и он фактически равносителен знаку умножения (знак умножения в общем случае хуже, т.к. он не задаёт значение показателя степени простого числа). Показатели степени, большие единицы, показывают кратность простого сомножителя и тоже выполняют роль, и разделителя, и знака умножения. Например: $3^2 5 = 3 \times 3 \times 5 = 9 \times 5 = 45$, $7^3 11^1 13 = 343 \times 11 \times 13 = 49049$. При факторизации простые сомножители должны следовать слева направо в порядке возрастания величины. «Логика» появления простых чисел среди нечётных чисел состоит в том, что простое число появляется, когда все позиции в ряду нечётных чисел заполняются предыдущими простыми и составными числами, а заполнение очередной позиции составным числом невозможно. Т.е. когда все эти возможности исчерпаны на множестве произведений меньших по величине и порядковому номеру составных и простых чисел. Поэтому очередное простое число обнаруживается по пустой позиции в ВРСЧ.

Подобное построение алгоритма в виде составных чисел-произведений нечётных и простых чисел с треугольной МП, является более компактным и мало затратным по объёму вычислений, чем перемножение нечётных чисел на нечётные числа. Объём повторных вычислений составных чисел сведён к минимуму и легко обходится исключением лишних операций. Причём алгоритм обеспечивает вычисление всех составных чисел с любым количеством простых сомножителей по ОТА. Опережающее значение чисел-произведений, как «потомков» по отношению к «родительским числам-сомножителям» обеспечивает наращивание ряда простых чисел для последующих вычислений (когда числа нечётного ряда известны).

Для обеспечения полноты заполнения составными числами до диагонального произведения текущей строки МП $m_i \times p_k$, это заполнение с учётом минимальности первого простого сомножителя 3: должно производиться от строки заполнения предыдущей строки до строки с номером

$$m_{vk} = \{m_k/3\} \times p_k - 2 . \quad (2)$$

А последующее заполнение делается со следующей строки и до строки

$$m_{vk+1} = \{m_k/3\} \times p_k \rightarrow m_{vk+1} = \{m_{k+1}/3\} \times p_{k+1} . \quad (3)$$

(добавление к индексу знака (плюс) говорит о том, что это следующая строка).

Причём величина числа $\{m_k/3\}$ вычисляется следующим образом:

$$\begin{aligned} \{m_k/3\} &= m_k - \text{если } m_k \text{ делится на } 3 , \\ \{m_k/3\} &= m_k + 2 - \text{если } m_k + 2 \text{ делится на } 3 , \\ \{m_k/3\} &= m_k + 4 - \text{если } m_k + 4 \text{ делится на } 3 . \end{aligned} \quad (4)$$

А значение m_{vk+1} определяется по формуле (2) для $k+1$. При условии заполнения до строки m_{vk} по формуле (2), произведения во всех последующих строках будут больше диагонального произведения $m_i \times p_k$. А это означает, что все клетки составных

чисел для текущей строки заполнены, и в ней на пустых местах можно обнаружить и проставить значения простых чисел на интервале текущей строки, – интервале между числами $m_{i-1} \times p_{k-1}$, до $m_i \times p_k$:

$$\begin{aligned} \Delta(m_i \times p_i) &= m_i \times p_i - m_{i-1} \times p_{i-1} == (m_{i-1} + 2) \times p_i - m_{i-1} \times p_{i-1} = \\ &= m_{i-1} \times (p_i - p_{i-1}) + 2 \times p_i = m_i \times (p_i - p_{i-1}) + 2 \times p_{i-1}. \end{aligned} \quad (5)$$

Интервал же заполнения строк по номерам для текущей строки (не путать его с интервалом определения простых чисел между диагональными произведениями чисел МП – это связанные между собой, но разные понятия) при вычислении любых k -тых компонент по формуле (2) будет составлять

$$m_{vk} - m_{vk-1} = \{m_k/3\} \times p_k - \{m_{k-1}/3\} \times p_{k-1}. \quad (6)$$

Для упрощения и ускорения вычислений элементов строк и столбцов МП можно заменить операции умножения двух условно «крупных» сомножителей на операции сложения и умножения менее крупных чисел, определяя компоненты последующих $(i+1)$ -вых строк через элементы текущих i -тых строк с учётом сдвигов значений чисел по формулам в таблице 3. Поскольку в предыдущей строке отсутствует элемент в $(k+1)$ -м столбце, этот столбец заполняется через элементы предыдущего столбца (показаны два варианта).

Т а б л и ц а 3 – Структура вычислений строки $(i+1)$ -вой матрицы произведений из элементов строки i (\times - знак умножения)

$(m) \downarrow$	$(p) \rightarrow$	p_j		$p_k \downarrow$	p_{k+1}	
$m_i \rightarrow$...	$\downarrow (m_i \times p_j)$	...	$(m_i \times p_k) \rightarrow$	$\rightarrow \downarrow$	\downarrow
$m_{i+1} =$ $m_i + 2$...	$(m_i \times p_j) +$ $+ 2 \times p_j$	...	$(m_i \times p_k) +$ $+ 2 \times p_k$	$(m_i \times p_k) + 2 \times p_{k+1} +$ $+ m_i \times (p_{k+1} - p_k)$	...
Или*: $m_{i+1} =$ $m_i + 2$...	$(m_i \times p_j) +$ $+ 2 \times p_j$	...	$\updownarrow (m_i \times p_k) +$ $+ 2 \times p_k$	$(m_i \times p_k) + 2 \times p_k +$ $+ m_{i+1} \times (p_{k+1} - p_k)$	...
...	И так далее	...

Примечание*: в строке «Или*» дано выражение для произведения $m_{i+1} \times p_{k+1}$ через элемент предыдущего столбца (он выделен рамкой, а направление подстановки – стрелками).

Сводка результатов по вычислениям повторов. В таблице 4 дана сводка результатов по условиям вычислений первых чисел-произведений и их повторов. Под сомножителем b понимается простой сомножитель p_j , пробегающий числа от 3 до p_k в текущей строке.

По характеру изменения величин нечётных и простых чисел в их рядах надо понимать, что их величины следуют закону изменения натурального ряда чисел. Нечётных чисел условно в два раза меньше, чем натуральных, но и шаг их изменения в 2 раза больше, чем у натуральных чисел. Простых чисел на любом числовом отрезке более 7 – меньше, чем нечётных, и следуют они с интервалами от 2 и более. Но и простые числа в своём ряду по величине следуют логике увеличения натуральных чисел, – т.к. растут они совместно с ростом общего количества чисел на интервале.

Факторизация составных чисел. Разложения на парные произведения в матрице произведений (см. таблицу 2) позволяет последовательно рекурсивно строить разложения более крупных чисел $a \times b$ из разложений менее крупных составных чисел a , которые построены ранее. Ввиду изменения («пробежек» на строках) сомножителя b ($b=p_j$) от малых значений (начиная с 3) простых чисел до «крупных», которые уже превышают самые крупные простые сомножители d в парных разложениях числа a ($a=c \times d$) или превышают число a , когда оно является простым числом, необходима нормализация разложения $a \times b$, чтобы на месте числа b встало наибольшее простое число из пары (b, d) , а число b заняло своё место среди «малых» сомножителей разложения. При «большИх b » такая нормализация не требуется, поскольку такое «большое b » является старшим простым числом разложения и расположено упорядоченно на своём крайнем правом месте в ряду сомножителей разложения.

Таблица 4 – Сводка результатов по условиям вычисления первых чисел-произведений и их повторов

Условия на значения сомножителей, первого вычисления и повтора	Случай вычисления
В общем случае $b=d$ замена $b \leftrightarrow d$ ничего не даёт, в случае, если нечётное $a=d$ – простое число $b^2=d^2$ вычисляется один раз	При $b=d$ замена $b \leftrightarrow d$ не даёт изменения числа или его позиции, поэтому в случае равенства простых $b=d$ для простых $a=d$ повторов $b^2=d^2$ нет
$p_j = b < p_k < d$, $b \times d$ – н/в* при $b \leftrightarrow d$ $m_i = d \rightarrow d \times b - \textcircled{1}/\text{в}^*$ (простое p_k – диагональное в строке простого нечётного b)	Заполнение для случая <u>простых</u> $a=d$ и $p_j = b < p_k < d$ – замена $b \leftrightarrow d$ с первым вычислением в текущей строке нечётного d без повтора вычислений
$p_j = b < d < p_k$, $d < p_k \rightarrow m_i = b \rightarrow b \times d - \textcircled{1}/\text{в}^*$ $m_i = d \rightarrow d \times b$ – повтор при $b \leftrightarrow d$	Заполнение для случая <u>простых</u> $a=d$ при малых $p_j = b < d \leq p_k$ – первое вычисление $b \times d$ и вычисление с повтором вычислений в более низкой текущей строке при замене $b \leftrightarrow d$
$d < b = p_k$, $m_i = b \rightarrow d \times b - \textcircled{1}/\text{в}^*$ $m_i = b \rightarrow b \times d$ – повтор при $b \leftrightarrow d$	Заполнение для случая простых $a=d$ при $b=p_k$ – первое вычисление $b \times d$ на диагонали МП и вычисление с повтором вычислений в более низкой текущей строке при замене $b \leftrightarrow d$
$p_j = b < p_k < d$ $m_i = c \times d \rightarrow c \times d \times b - \textcircled{1}/\text{в}$ $c \times b \rightarrow c \times b \times d$ – н/в*	Заполнение для случая $b < p_k < d$ – замена $b \leftrightarrow d$ и вычисление без повтора в текущей строке
$p_j = b < d < p_k$ $m_i = c \times b \rightarrow c \times b \times d - \textcircled{1}/\text{в}$ $m_i = c \times d \rightarrow c \times d \times b$ – повтор	Заполнение для случая $b < d$ и $d < p_k$ – замена $b \leftrightarrow d$, и случай повтора значения числа в текущей строке
$d < b < a < p_k$ $m_i = c \times d \rightarrow c \times d \times b - \textcircled{1}/\text{в}^*$ $m_i = c \times b$	Заполнение для случая $d < b < a < p_k$ – $b \leftrightarrow d$ и случай повтора значения числа в текущей строке
$p_j = a < b$ $m_i = c \times d \times b \rightarrow c \times d \times b - \textcircled{1}/\text{в}$ $m_i = c \times b \rightarrow c \times b \times d$ – повтор	Заполнение для случая $a < b$ и $b \leq p_k$ – замена $b \leftrightarrow d$ и случай повтора значения числа в текущей строке
Примечание: $\textcircled{1}/\text{в}^*$ – первое вычисление числа-произведения	

Т.е. разложение произведения $a \times b$ должно вычисляться из полученного ранее разложения нечётного числа a с добавлением простого сомножителя b , пробегающего указанные значения или прямо в виде простого сомножителя b при больших значениях b , либо в виде внутреннего сомножителя в разложении составного числа a среди его простых сомножителей. При этом надо учитывать, что простые сомножители в разложении составных чисел могут входить в состав разложения не только в виде простых чисел, но и в виде различных степеней простых чисел. В это разложение числа a число b войдёт либо как дополнительный сомножитель на своём месте по величине, либо в виде повышения степени на 1 (+1) кратного сомножителя b , если он входит в разложение числа a .

Такое построение разложения произведения на простые сомножители с постановкой очередного простого сомножителя на своё место ниже называется «факторизацией разложения составных чисел». Кратко термин «факторизация» связан с конкретным понятием «разложения составных чисел» на простые сомножители. Суть факторизации полученного произведения $a \times b$ – постановка сомножителя b на своё упорядоченное место в разложении сомножителя a на простые сомножители.

В любом факториальном разложении произведения нечётного и простых чисел $a \times b$ само значение величины числа b указывает на то место, в которое надо вставить его в разложение при построении разложения, – его надо вставить между двумя простыми числами в разложении a , из которых «левое» меньше b , а правое – больше b . Или повысить на единицу степень числа b , если оно присутствует в виде сомножителя в разложении числа a . «Старшие», т.е. «большие» значения вставляются в разложение произведений справа, младшие – слева, а «промежуточные» значения вставляются «внутрь» разложения.

Сводка полученных результатов в итоговой таблице 5 следующая. В таблице 5 для произведения в зависимости от величины b приняты следующие разложения произведения:

- $a \times b = c \times d^+ \times b$ в виде упорядоченных произведений для различных величин b от малых до больших, вставленных в разложение числа:

- $a \times b = f^+ \times h^+ \times d^+ \times b$, где:

- f^+ – младший (меньший) простой сомножитель (или его степень обозначенная значком плюс: $^+$) разложения нечётного числа a ,

- h^+ – один из промежуточных сомножителей (или его степень: $^+$) разложения нечётного числа a ,

- d^+ – старший (большой) сомножитель разложения нечётного числа a или его степень $^+$): $a, f \leq h \leq d$,

- f^{+1}, h^{+1}, d^{+1} - значения простых или Кр-простых (индекс: $^+$) чисел f, h и d со степенью простого основания, увеличенной на 1 (единицу).

Количество простых чисел на интервале до числа x задаётся функцией $\pi(x)$, и по самому её определению, очевидно, что для простого числа p_i с натуральным номером i выполняется соотношение

$$\pi_i(p_i) = i. \quad (7)$$

Но при этом надо заметить, что в данном случае число i является номером простого числа в ряду РПЧ по «логике нарастания плотного ряда простых чисел», а не в ряду ВРПЧ по «логике нарастания ряда нечётных чисел» и их натуральных индексов.

Индекс i – это натуральный порядковый индекс и номер простых чисел, который по своим значениям заметно «отстаёт» от индекса n натурального номера нечётного числа в выпадающем ряду простых чисел – ВРСЧ. При этом очевидно, что номер составного числа в плотном ряду РСЧ тоже «отстаёт» от нечётного номера составных чисел и очевидно, что это «отставание» для n – го составного числа равно $(n-i)$, где n – номер составного числа, как нечётного числа в ВРСЧ, а i – номер в РСЧ ближайшего меньшего простого числа, чем данное составное. Поскольку из n нечётных чисел до данного составного числа – выпадает i простых чисел, а остальные нечётные числа являются составными.

Т а б л и ц а 5 – Сводка результатов по построению разложений составных чисел, как произведений нечётных чисел на простые числа.

Условие на число b (по мере роста)	Разложение произведения $a \times b = f^+ \times \dots \times h^+ \times \dots \times d^+ \times b = c \times d^+ \times b =$	Случай заполнения разложения и место вставки множителя b (пояснение)
$b < f$	$= b^1 a = b^1 f^+ \dots h^+ \dots d^+$ $(= b^1 c^1 d^+)^*$	b – малое значение, меньше младшего f ; b вставляется, как младший множитель разложения слева
$b = f$	$= b \times a = f^{+1} \dots h^+ \dots d^+$	b – малое значение, равно младшему f ; b повышает степень младшего множителя разложения f на 1
$b > f$ $b < h_{\min}$	$= b \times a = f^+ \dots f^+ b^1 h^+ \dots d^+$	b – значение, больше, чем меньший f , но меньше из промежуточных между f и d множителей h_{\min} (b прижато справа к h^+); b вставляется внутрь, как множитель разложения
$b = h$	$= b \times a = f^+ \dots h^{+1} \dots d^+$	b – значение, равно одному из промежуточных между f и d множителей h ; b повышает степень промежуточного множителя разложения h^+ на 1
$b < d$	$= a \times b = f^+ \dots h^+ \dots b^1 d^+$ $(= c^1 b^1 d^+)^*$	b – значение, больше всех промежуточных между f и d множителей h и меньше старшего d ; b вставляется внутрь, как множитель разложения
$b = d$	$= a \times b = f^+ \dots h^+ \dots d^{+1}$ $(= c^1 d^{+1})^*$	b – значение, равно старшему множителю d разложения a ; b повышает степень старшего множителя d^+ разложения числа a
$b > d$ $b > d$ $b > a$	$= a \times b = f^+ \dots h^+ \dots d^{+1}$ $(= c^1 d^+ b)^*$	b – значение, равно старшему множителю d разложения a ; b вставляется, как старший множитель разложения справа
Примечание. *Под c понимается число c из разложения нечётного числа $a = c \times d^+$ на нечётный c и простой старший d^+ множители.		

Индекс же простого или составного числа, как нечётного числа, легко определить по величине этого числа по формулам:

$$n_s = \frac{s+1}{2} - \text{для составного } s, \quad n_p = \frac{p+1}{2} - \text{для простого } p. \quad (8)$$

Эти индексы нечётных чисел для рядов ВРСЧ и ВРПЧ не совпадают с индексацией (и нумерацией) чисел РСЧ и РПЧ – надо чётко видеть эти различия и не путать индексы и номера чисел между собой.

Под знаком функции $\pi(x)$ в качестве x для ряда нечётных чисел (в который входят и составные и простые числа) входят нечётные числа по формуле $x=(2 \times n-1)$, где n – индекс составного или простого числа, как числа нечётного. Для составного нечётного числа функция $\pi(x)$ показывает количество простых чисел до данного составного числа (по величине). А для простого числа – его индекс по формуле (7). Поэтому реально функция $\pi(x)$ имеет аргумент почти в 2 раза превышающий индекс нечётного числа.

Асимптотический закон распределения простых чисел следует уточнённому приближению Лежандра по формуле (9), в котором величина D задаётся по количеству простых чисел на их интервалах изменения по таблице 6

$$\pi(p) = \pi(x) = \frac{x}{\ln \frac{x}{D}} \quad (9)$$

(p – ближее и меньшее x простое число).

Таблица 6 – Уточнение приближения Лежандра на различных интервалах чисел через делитель D аргумента под знаком логарифма

X	$\pi(x)$	$x/\pi(x)$	Приближение Лежандра: $\frac{x}{\ln(x-1,08366)}$	Уточнение: $\frac{x}{\ln(x/D)}$	Делитель аргумента под $\ln: D$	$\ln D$
10	4	2,5	8,203949576	4,000097486	0,8209	-0,19735
100	25	4,0	28,397	25,00046445	1,8317	0,605244
1 000	168	6,0	171,70	168,0006132	2,5997	0,955396
10 000	1 229	8,1	1230,51	1229,009181	2,9262	1,073705
100 000	9 592	10,4	9588,403	9592,012919	2,9671	1,087585
1 000 000	78 498	12,7	78543,18	78498,21068	2,934	1,076367
10 000 000	664 579	15,0	665139,7	664579,3766	2,91825	1,070984
100 000 000	5 761 455	17,4	5 768 003	5761466,875	2,89791	1,06399
1 000 000 000	50 847 534	19,7	509 175 18	50847534,38	2,876657	1,056629
10000000 000	455 052 512	22,0	455 743 003	455052511,8	2,8586948	1,050365

В таблице 6 даны уточнённые значения приближения Лежандра для известных значений функции $\pi(x)$ через уточнения значений величин D и $\ln D$. Такие уточнения позволяют добиваться равенства величин функции $\pi(x)$ и уточнённых приближений Лежандра практически на любых интервалах изменения простых чисел. Эти приближения с учётом величины D для интервалов чисел легко сделать более точными и верными для всех интервалов чисел, чем при оценке значений функции $\pi(x)$ по фор-

муле интегрального логарифма (см., например, [1], с. 42). Асимптотически D при росте x стремится к числу e , а $\ln D$ – к 1 (см. [2], с. 7).

Количество операций $N_{\text{ОП}}$ вычисления чисел-произведений МП по мере роста числа строк определяется как сумма арифметической прогрессии с начальным значением $a=1$ (при $k=0$, соответствующему номеру $n=2$) с шагом $r=1$ – по формуле 0.111 И.С. Градштейн, И.М. Рыжик. Таблицы интегралов, сумм и произведений», М., Наука, 1971, с. 15:

$$N_{\text{ОП}} = \frac{n \times (n-1)}{2}. \quad (10)$$

А значение числа-произведения нечётного числа на простое, очевидно, является средним геометрическим от произведения квадратов этих чисел:

$$m_k \times p_k = \sqrt{(m_k^2 \times p_k^2)}. \quad (11)$$

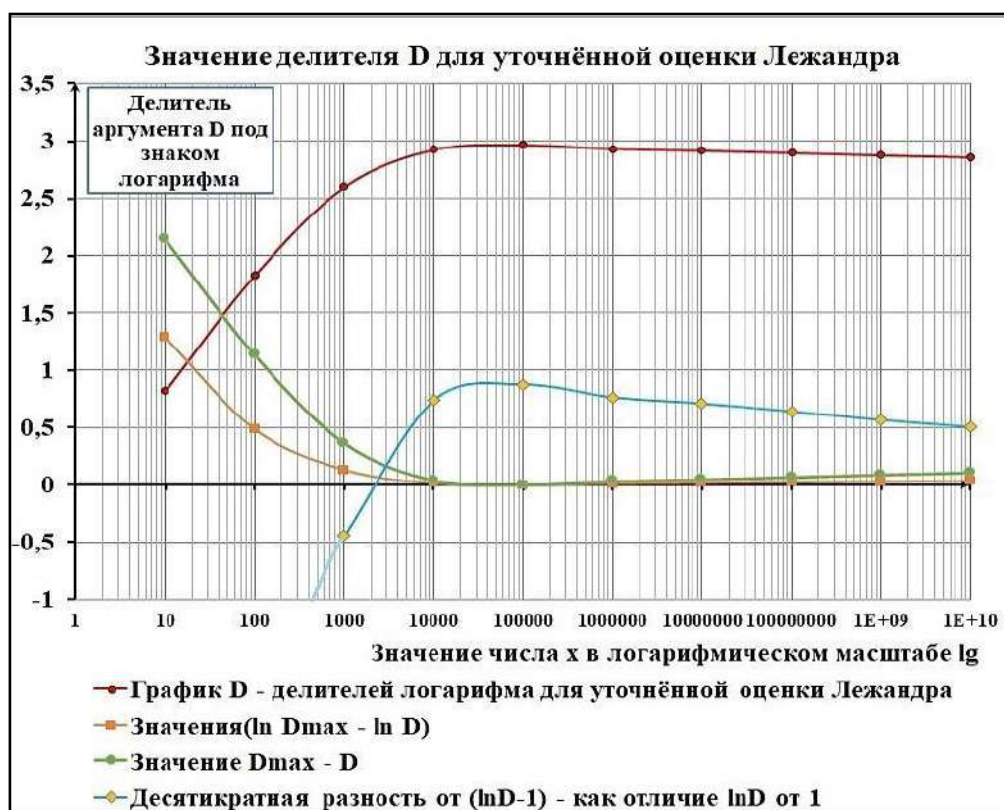


Рисунок 1 – График делителей D аргумента x под знаком логарифма для уточнённой оценки Лежандра $x/\ln(x/D)$ по таблице 6 и значений разности делителя с его максимальным значением и логарифма разности. Дан и график для значения $10 \times (\ln D - 1)$ – как отличие $\ln D$ от 1 – асимптотически D приближается к e , а $\ln D$ приближается к 1 при росте x

Графическое построение произведений $m_i \times p_j$ составных чисел из рядов простых чисел строится на узлах «сетки» плоскости XY из линий параллельных оси Y через точки – простые числа p_j на оси X и линий, параллельных оси X через точки нечётных чисел m_i на оси Y . От величины нечётного числа при фиксированном простом

числе p_j зависит высота точки числа по оси Z . Причём эта зависимость от нечётных чисел известна и строго детерминирована, поскольку весь их ряд известен.

Для графического представления на плоскости все числа-произведения проектируются на плоскость XZ – чтобы были видны их позиции относительно простых множителей. По оси Z строится произведение на пересечениях линий простых и нечётных чисел $m_i \times p_j$. На приведённом ниже рисунке 2 для фиксированного простого числа p_j в плоскости $X=p_j$ (параллельной плоскости YZ – в плоскости XZ – её образ — это прямая $X=p_j$) показано это построение для указанного произведения (красными линиями). При фиксированном p_j точки произведений располагаются на наклонной зелёной прямой VJ . Видно, что меньшему нечётному числу – для примера, m_{i-4} при том же значении простого сомножителя p_j соответствует меньшее значение произведения по оси Z . А большему значению нечётного числа будет соответствовать большее значение произведения по оси Z . Так что разным нечётным числам будут соответствовать разные точки на прямых простых чисел p_j , параллельных оси Z и проекций этих точек, нанизанных на ось $X=p_j$.

Можно заметить, что при выборе начала отсчёта системы координат O в точке $X=Y=Z=1$, прямая VJ будет иметь начало в точке на оси OX (точка D совпадёт с точкой J).

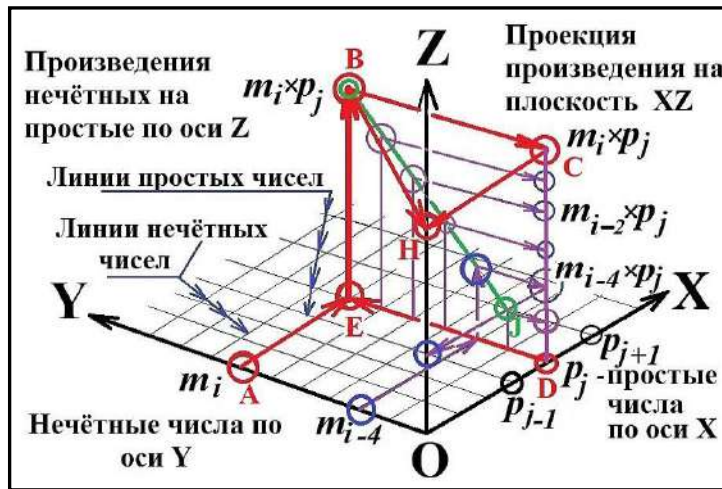


Рисунок 2 – Построение произведений (по оси Z) на узлах сетки простых (по оси X) и нечётных чисел (по оси Y) с проекцией точек-произведений $m_i \times p_j$ на плоскость XZ . На вертикали $X=p_j$ лежат числа-произведения простого числа p_j на нечётные числа m_i

Зависимость чисел-произведений $m_i \times p_j$ от величин простых чисел при заданном значении нечётного числа m_i показана на рисунке 3 – здесь числа располагаются на наклонной зелёной прямой AB в плоскости $Y=m_i$ по мере роста сомножителей p_j . Образуем-проекцией этой прямой в плоскости XZ будет наклонная прямая DC , соединяющая проекции точек-произведений $m_i \times p_j$ на плоскость XZ . При выборе начала отсчёта системы координат O в точке $X=Y=Z=1$, прямая AB будет иметь начало в точке на оси OX (точка A совпадёт с точкой F).

Общая картина на плоскости XZ получается такая, – см. рисунок 4. Точки на вертикалях и на наклонных линиях – одни и те же точки (на пересечениях), но точки

наклонных линий соответствуют числам строк МП, а точки вертикалей – столбцам простых чисел МП.

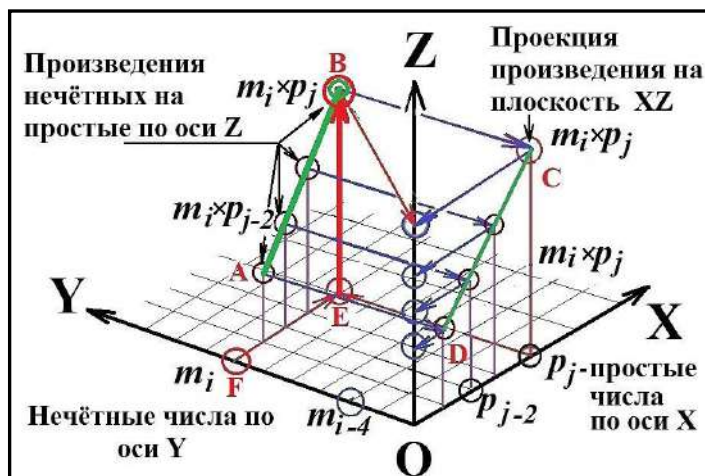


Рисунок 3 – Построение произведений (по оси Z) на узлах сетки простых (по оси X) и нечётных чисел (по оси Y) с проекцией точек-произведений $m_i \times p_j$ на плоскость XZ.

На наклонной линии DC лежат числа-произведения нечётного числа m_i на последовательность простых чисел p_j

На рисунке 4 видны отрезки наклонных прямых с точками чисел – произведений МП, имеющими начало на линии $p_1=3$, а окончание – в точке диагонального произведения $m_k \times p_k$ текущей строки матрицы произведений. Промежуточные точки нанизаны на прямые фиксированных простых чисел – они лежат на прямых, ортогональных оси X с абсциссами в точках – простых числах от 3 до максимального простого числа текущей строки p_k . Конечно, наклонные отрезки прямых с произведениями текущей строки – это проекции наклонных линий в плоскостях $X=p_j$ (параллельных плоскости YZ) через точки с разными нечётными сомножителями m_i , – эти линии проходят через точки чисел-произведений как на рисунке 4, образуя пространственную «крыло» («метёлку») из отрезков с нанизанными на них числами-произведениями строк матрицы. В определённый интервал чисел между максимальными значениями произведений на диагонали матрицы произведений попадают отрезки прямых с числами, начиная с чисел на вертикали $X=3$ и на последующих вертикалях до максимального числа на вертикали $X=p_k$.

По рисунку 4 прослеживается усложнение структуры составных чисел, состоящее в «наслоении» рядов произведений нечётных и составных чисел друг на друга по мере роста и сомножителей, и произведений. И распределение простых чисел следует за этим усложнением составных чисел, занимая свободные позиции между составными числами.

На рисунке 4 представлен график количества простых чисел, определяемых на интервалах строк матрицы произведений и график самих значений интервалов с масштабным коэффициентом 10 (чтобы уместить оба графика рядом без большого разрыва по оси Y) до строки и чисел с номерами до № 35. По данному графику видно, что по мере роста номера строки матрицы произведений, количество простых чисел,

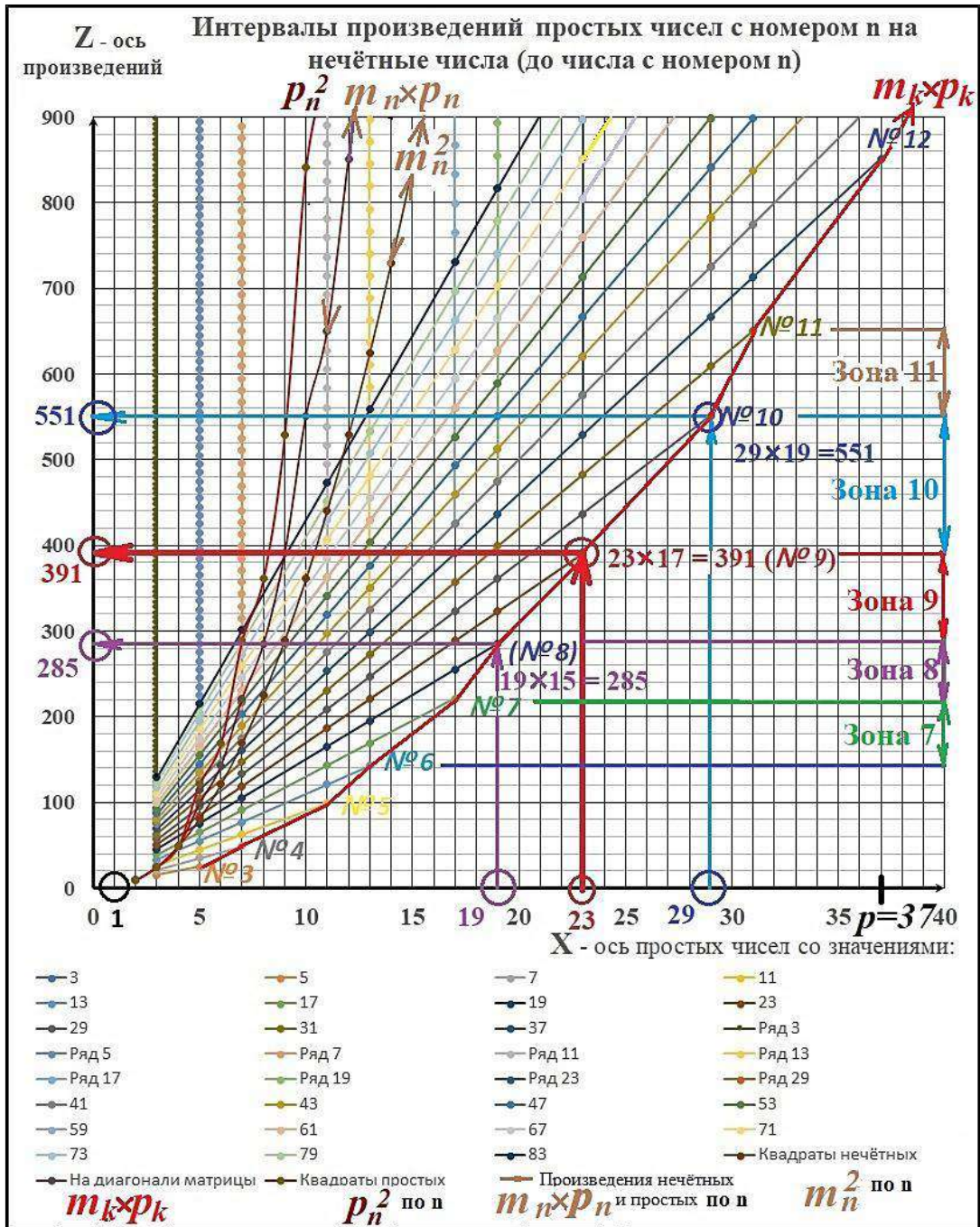


Рисунок 4 – Построение «крыло» – проекций точек-произведений на сетке нечётных и простых чисел на плоскости XY по оси Z на плоскость XZ. Точки – по вертикалям простых чисел и по наклонным линиям строк матрицы произведений. Справа показаны зоны заполнения чисел-произведений для нумерованных строк. На графике видно, что для заполнения точек-произведений до каждой текущей строки надо вычислить и произведения на последующих строках, лежащих на наклонных линиях следующих за текущей строкой



Рисунок 4 – График количества простых чисел на интервалах строк матрицы произведений (красная линия с чёрной линией её полиномиальной линии тренда) и график интервалов чисел строк матрицы произведений с масштабом 0,1 (зелёная линия). Для сравнения показаны и графики роста простых чисел на полных интервалах строк – функция $\pi(x)$ и её асимптотическое приближение $x/\ln(x)$

определяемых на интервалах этих строк не совсем регулярно, но увеличивается, – в среднем по линии тренда. Причём при увеличении числа определяемых простых чисел увеличивается и разброс количества определяемых чисел на интервалах строк. По этим кривым видно, что количество простых чисел, определяемых на интервалах строк матрицы произведений, примерно следует за величиной этих интервалов: чем больше интервал – тем больше на нём определяется чисел. Причём с ростом чисел и произведений наблюдается и рост «размахов» интервалов чисел, – больший в сторону их увеличения и меньший в сторону их уменьшения. Хотя наблюдается постепенный рост и минимумов кривой интервалов. Максимумы интервалов в начале кривых обычно не превышают в два раза значения линии тренда и в 3 раза значения предшествующих им минимумов, а минимумы – не менее половины от значений линии тренда. Только на тридцать первом интервале скачок в 123 числа почти в два раза превы-

шает значение нечётного числа и примерно в 3 раза – значение предыдущего минимума. И при сотом значении чисел резкий выброс максимума интервала более чем в три раза превышает соседний минимум: 4628 к 1436 (на рисунке 5). Ясно, что при больших значениях чисел величина максимальных скачков произведений будет постепенно увеличиваться. Наибольшие скачки простых чисел наблюдаются или после минимумов интервалов после чисел-близнецов (например, интервал 524-1212), или чаще – через умеренный промежуточный скачок простых чисел (например, 1280-1650-3130). Геометрическое построение $\pi(x)$ и приближения $x/\ln x$, данные на рисунке 4, позволяют представить, как соотносятся общее количество простых чисел на интервалах строк к количеству чисел, определяемых на этих отдельных интервалах (а случай уточнённого приближения Лежандра совпадает с $\pi(x)$).

График кривой интервалов матрицы уже с масштабом 1 по оси ординат Y произведений для интервала до 100 первых строк приведён на рисунке 5. Это – зелёная кривая на графике рисунка 4 без масштабного коэффициента 10 с её дальнейшим продолжением до сотого интервала нечётных чисел (до 199-го значения нечётных или сотого интервала строк матрицы произведений). Ряд дополнительных тезисов и графических построений выполнен в монографии по адресу в начале статьи: В монографии можно найти более подробные доказательства выполненных построений с начальными соображениями, как и почему они возникли.

Ряд дополнительных тезисов и графических построений выполнен в монографии по адресу в начале статьи: В монографии можно найти более подробные доказательства выполненных построений с начальными соображениями, как и почему они возникли.

Формула простого числа. Формально формулу для определения простых чисел на отрезке их ряда можно записать в векторной форме следующим образом:

$$\sum_{h=m_{i-1} \times p_{k-1}}^{h=m_i \times p_k} p_h \otimes \underline{r}_h = \sum_{i=m_{i-1} \times p_{k-1}}^{m_i \times p_k} m_i \otimes \underline{r}_j - \quad (12)$$

$$- \sum_{t=i}^{t=\lfloor \frac{m_i}{3} \rfloor \times p_k} \{ \forall (m_t \times p_j < m_t \times p_i) \} \sum_{j=1}^k m_t \times p_j \otimes \underline{r}_j \quad (13)$$

- здесь \otimes – значок векторного умножения скаляра на орт вектора \underline{r}_h (или \underline{r}_j), обозначающий позицию отдельного числа в векторе с компонентами последовательности чисел. Первая сумма в левой части формулы – это вектор последовательности новых простых чисел на интервале изменения диагональных произведений МП от предыдущего значения $m_{i-1} \times p_{k-1}$ до $m_i \times p_k$, вторая сумма уже в правой части – это вектор всех нечётных чисел на интервале их указанного изменения между диагональными членами МП. А третья сумма – это все составные числа на интервале от текущей строки и на интервалах последующих строк до строки с нечётным числом, равным условной трети от диагонального произведения текущей строки. Символ \forall – «для всех» означает условие суммирования для всех произведений $m_t \times p_j$, которые по величине меньше диагонального произведения МП $m_i \times p_k$. Дополнительным условием применимости формулы является её применение для непрерывного процесса вычислений простых чисел. Поскольку полное (плотное) заполнение всех позиций составных чисел происходит при таких непрерывных вычислениях, при которых определяется не только отрезок составных чисел, но и их позиции и позиции простых чисел в ряду натуральных чисел.

Через понятия сложения-вычитания множеств формулу для подмножества простых чисел можно представить в виде

$$\begin{aligned}
 & \bigcup_{j=3}^{j=m_k \times p_k} p_j = \bigcup_{j=2}^{2 \times j - 1 = m_k \times p_j} m_{(2 \times j - 1)} - \\
 & - \bigcup_{j=3}^k \{ \forall (m_i \times p_j < m_k \times p_k) \} \bigcup_{i=2}^{2 \times i - 1 = \{m_i/3\} \times p_k} m_{(2 \times i - 1)} \times p_j
 \end{aligned}
 \tag{14}$$

Смысл формулы понятен: подмножество простых чисел p_j (множество в левой части равенства) выделяется из множества нечётных чисел на интервале МП (первое слагаемое в правой части равенства) путём вычитания всех составных чисел на этом интервале изменения нечётных чисел (вычитаемое в правой части равенства). При этом подразумевается, что все величины простых чисел до p_k известны и значение простых чисел дополняются на каждом интервале МП до значений $m_k \times p_k$.



Рисунок 5 – Значения интервалов строк матрицы на начальном участке простых и нечётных чисел до их натурального номера 100

Предложенные формулы наглядны и понятны только при понимании самой сути алгоритма, который в ней заложен. Векторное представление – формальный приём, который позволяет отделить значения составных и простых чисел в качестве самостоятельных величин своих рядов. Математически он позволяет оперировать с массивами простых и составных чисел с использованием матричных операций.

Литература

- 1 Зенкин В.И. Распределение простых чисел. Элементарные методы. – Калининград, 2008.
- 2 Дербишер Д. Простая одержимость. Бернхард Риман и величайшая нерешённая проблема в математике. – <http://ega-math.narod.ru/Liv/Zagier.htm>
- 3 Сизый С.В. Теория чисел. Учебно-методический комплекс. – Екатеринбург: Уральский государственный университет им. А.М. Горького, 2008.
- 4 Балазар М. Асимптотический закон распределения простых чисел. – М.: Издательство МЦНМО.
- 5 Банникова Т.М., Баранова Н.А. Основы теории чисел. – Ижевск: УГУ, 2009.
- 6 Бухштаб А.А. Теория чисел. – М.: Просвещение, 1966.

Буянов Евгений Вадимович – ведущий инженер, АО «РИРВ», г. Санкт-Петербург.
Область научных интересов: инновационные технологии и оборудование для измерений, оптимизация производственных процессов.
e-mail: evgeniy_buyanov@mail.ru, bev@rirt.ru

Почтовый адрес: 192012, Санкт-Петербург, проспект Обуховской обороны, дом 120.

METHOD OF CONSTRUCTION OF SIMPLE AND COMPOSITE SERIES NUMBERS BY DIRECT CALCULATIONS. STRUCTURES OF SERIES OF PRIME AND COMPOSITE NUMBERS AND ASSOCIATED WITH IT ROWS

The "Buyanov's method" of direct calculations of composite and prime numbers is outlined. The method allows you to construct series (sequences) of prime numbers and systems of series derived from it in the form of a series of composite numbers as a series of composite numbers “dropping out of an odd series of numbers” and compose other derivative series. These are ordered series of numbers of prime numbers and numbers of a series of products and series of expansions of members of an odd series into elementary divisors. The method is reduced to simple mathematical and logical operations that are easily implemented in computer programs. The construction of the calculation algorithm already on the initial values of the numerical series allows us to trace the patterns of their formation and development from small to large values.

Keywords: prime numbers; a series of numbers; calculation method; product of numbers; calculation algorithm.

Buyanov Evgeniy Vadimovich – Leader engineer of JSC «Russian Institute of Radionavigation and Time», Saint Petersburg.

Research interests: innovative technologies and equipment for measurements, optimization of production processes.

УДК 621.376.4

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЗАРУБЕЖНЫХ НАЗЕМНЫХ СИСТЕМ КВНО

Белянкин П.В., Жуков Е.Т.

Что было, то и будет, и что делалось, то и будет делаться,
И нет ничего нового под Солнцем.
Бывает нечто, о чём говорят «Смотрите, это новое»,
Но это было уже в веках, бывших прежде нас.
Екклесиаст I, 9-10 ≈450 г. до н. э.

В статье даны обзор современных тенденций развития зарубежных систем координатно-временного и навигационного обеспечения (КВНО) и оценка процесса возрождения низкочастотных систем КВНО наземного базирования на основе современных технических возможностей. Приведена информация о программе DARPA «STOIC» и новой зарубежной системе КВНО СДВ диапазона, создаваемой по этой программе. Также приводятся результаты мониторинга сигналов СДВ диапазона, предположительно относящихся к работе системы.

Ключевые слова: Радионавигационная система, система передачи времени, координатно-временное и навигационное обеспечение (КВНО) сверхдлинноволновый (СДВ) диапазон, синхронизация шкал времени, PNT, DARPA, STOIC, широкополосные сигналы.

Введение

Развитие и совершенствование в 90-е и начале 2000-х годов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) сделало их основой координатно-временного и навигационного обеспечения. ГНСС полностью обеспечили все потребности КВНО со значительным запасом по характеристикам. Это привело за рубежом (прежде всего, в США) к ошибочному представлению об отсутствии необходимости поддержания работоспособности других систем КВНО и выводу из эксплуатации всех систем дальней радионавигации наземного базирования. В дальнейшем многочисленные случаи неработоспособности оборудования КВНО, основанного на использовании сигналов ГНСС, вследствие воздействия помех привели к осознанию необходимости резервирования функций ГНСС и создания с этой целью новых систем КВНО, в том числе систем наземного базирования сверхдлинноволнового (СДВ) диапазона, на основе современных технических возможностей.

Радиоволны СДВ диапазона (3 – 30 кГц) распространяются на значительные расстояния и могут быть приняты на небольшой глубине (единицы или десятки метров) под водой, подо льдом, под укрытиями и в других местах, недоступных для проникновения сигналов более высоких частот. Системы радионавигации и передачи времени СДВ диапазона частично резервируют соответствующие функции ГНСС.

1 Плюсы и минусы систем СДВ диапазона

СДВ диапазон исторически был первым диапазоном радиоволн, использованным для регулярной дальней радиосвязи начиная с начала XX века. Именно колебания этого диапазона частот могли генерировать электромашинные и дуговые передатчики того времени.

Полоса частот диапазона (в килогерцах) невелика, что не позволяет выделить на нём рабочие частоты для большого количества радиостанций. Кроме того, исполинские размеры, энергопотребление и огромная стоимость строительства и эксплуатации антенн и передатчиков передающих станций СДВ диапазона превращают их в уникальные сооружения. Антенны передающих станций СДВ диапазона занимают площадь сотни гектаров, это самые большие на планете единичные излучатели. Полоса частот передающих антенн не может быть сделана широкой (максимум десятки или сотни Гц), что ограничивает пропускную способность радиоканала. Велик уровень промышленных (электрооборудование) и атмосферных (разряды молний) помех.

По мере увеличения числа радиостанций, расширения спектра радиопередачи и перечня видов модуляции, а также совершенствования передающих устройств, для радиосвязи стали использовать всё более высокие частоты. Однако сверхдлинные волны обладают двумя особенностями, которые делают их использование актуальным и необходимым и в настоящее время.

Сверхдлинные волны распространяются глобально, причём после формирования волны в ближней зоне (до 1000 км от радиостанции) за её пределами она стабильна и однородна, не склонна к интерференции с отражениями от ионосферы, приводящими к замираниям, как на более высоких частотах. Считается, что радиоволна СДВ диапазона распространяется в сферическом волноводе, образованном двумя концентрическими сферами – поверхностью Земли и нижней частью слоя D ионосферы. Поскольку расстояние между ними (80 – 100 км) близко к длине волны, в дальнем распространении сигнала участвуют только стабильные по характеристикам волновые моды малого порядка. Благодаря этому с помощью радиоволн СДВ диапазона возможна не только стабильная и надёжная, не подверженная замираниям дальняя радиосвязь, но и основанные на измерениях времени приёма сигнала радионавигация и передача времени на глобальных расстояниях. Кроме того, ещё в начале 20 века было установлено, что приём сигналов на этих частотах возможен на глубине до нескольких десятков метров под водой.

В связи с этими существенными достоинствами СДВ диапазона после II мировой войны во многих странах были построены десятки передающих станций СДВ диапазона, в том числе 6 в СССР. В это же время были также созданы СДВ фазовые радионавигационные системы (ФРНС) СМА-740 Omega (США, Канада) и «Альфа» (СССР), отечественная СДВ система передачи сигналов времени [1].

2 Снижение интереса к использованию наземных систем PNT в конце 20 века

После принятия в эксплуатацию GPS интерес к использованию наземных систем КВНО, (в зарубежных публикациях PNT – positioning, navigation, timing), в странах Западной Европы и США снизился, и их роль в основном была сведена к резервированию

ГНСС и передаче дифференциальных поправок GPS. ГНСС как средство координатно-временного и навигационного обеспечения PNT по совокупности параметров оказались настолько совершенны, что в США на уровне принятия решений возникла иллюзия возможности замены ими всех остальных систем КВНО. При этом американские специалисты уже в 2001 году (доклад Центра им. Дж. Вольфа) [2] предупреждали о низкой устойчивости к помехам сигнала GPS и катастрофических последствиях его длительной недоступности для военных и гражданских потребителей. В период 2001 – 2010 годов учёными и инженерами Службы береговой охраны США и ряда фирм (прежде всего, Timing Solutions, Inc. и USCG Loran Support Unit, США и Дельфтского технологического университета, Нидерланды) были предприняты значительные усилия по совершенствованию ИФРНС LORAN-C (системы E-LORAN в США, Eurofix в Западной Европе). Целью работы было создание резервирующей наземной системы, устойчивой к преднамеренным помехам и при этом сравнимой с GPS по функциональным возможностям и точности. Были достигнуты впечатляющие практические результаты в этом направлении. В мире на тот момент насчитывалось порядка 73 передающих станций LORAN-C, из них 24 в США, которые охватывали рабочей зоной большую часть сухопутной территории северного полушария и прибрежных вод (рисунок 1) [3], и 8 станций ФРНС СМА-740 Омега с глобальной рабочей зоной.



Рисунок 1 – География станций ИФРНС Loran-C до начала демонтажа (2010 год) и без учета российских станций [3]

Несмотря на это, в результате несовершенства бюрократических процедур все цепи ИФРНС Континентальной части США (CONUS) были отключены в течение 2010 года по распоряжению администрации Б. Обамы. При этом использовались абсурдные аргументы о несоответствии характеристик точности системы требованиям

при посадке самолёта вслепую (функция РСБН) и захода в залив при нулевой видимости. На самом деле в таких условиях для предотвращения столкновений должны использоваться РЛС и гидроакустика, а при их отсутствии надо вставать на якорь и давать гудки до прояснения обстановки, поскольку навигационный приёмник не показывает другие корабли и суда. Следует сказать, что приёмники ГНСС до сих пор так и не стали у лётчиков и моряков основным средством навигации.

В конце 2015 года в Западной Европе перестали работать цепи Eurofix. Несколько раньше (начало 2000-х) были варварски уничтожены (взорваны) уникальные антенные сооружения всех восьми передающих станций глобальной СДВ ФРНС «Омега». Это было, словами Антуана Буле де ла Мёрт, сказанными по поводу казни герцога Энгиенского по приказу Наполеона I, больше, чем преступление, это была ошибка.

3 Осознание ошибочности политики в области PNT за рубежом и возобновление интереса к наземным системам в настоящее время

Ошибочность действий по отказу от систем КВНО наземного базирования и разрушению их инфраструктуры стала очевидна по мере быстрого роста напряжённости международной обстановки во второй декаде 21 века. Публикации о фактах подавления сигнала GPS и неработоспособности многочисленных систем, основанных на использовании её сигнала, теперь появляются каждый месяц по всему миру [4]. Речь идёт не только о преднамеренном подавлении сигнала, в том числе в криминальных целях, но и о непреднамеренных воздействиях при работе мобильной связи 4G, военных систем и других наземных служб и устройств [4]. Достаточно совершенные устройства для подавления сигнала GPS в США открыто рекламируются в Интернете и стоят недорого. Особую тревогу гражданских потребителей вызывает неспровоцированное и неизбирательное использование средств подавления сигнала GPS, приводящее к неработоспособности навигационных систем гражданских воздушных и морских судов и потенциально способное вызвать транспортную катастрофу и гибель людей [5].

Уже в декабре 2015 года в США обсуждалось возобновление финансирования системы eLogan, и в том же году DARPA инициирует широкий спектр программ по диверсификации систем PNT (КВНО) [6].

В июле 2017 г. Палата представителей Конгресса США приняла законопроект, обязывающий министерство транспорта страны начать восстановление системы eLogan. Президент Д. Трамп 12 декабря 2017 года подписал закон о немедленной оценке и демонстрации возможностей eLogan как системы резервирования и дополнения GPS [7]. Исследование и оценка были поручены трем министерствам – обороны, транспорта и внутренней безопасности, на это было выделено из бюджета ВВС \$10 миллионов. Срок выполнения этой работы со дня подписания закона – 18 месяцев. Как результат исследований, в январе 2021 года Министерство транспорта США выпустило большой отчёт с обзором 10 систем КВНО, резервирующих ГНСС, включая 2 системы на основе технологии eLogan [8].

Отечественные наземные системы КВНО ДВ и СДВ диапазонов всё это время сохранялись в исправном состоянии, они функционировали, использовались, совершенствовались и в современных условиях должны получить дальнейшее развитие.

4 Программы DARPA по преодолению зависимости военных потребителей КВНО США от ГНСС

В настоящее время общемировой тенденцией является диверсификация функций КВНО с резервированием соответствующих функций ГНСС системами наземного базирования, навигацией по естественным источникам и полям Земли и автономными средствами (All Source Navigation, ANS) [6]. В программе DARPA PNT STOIC [9]-[14] для глобальной передачи помехоустойчивого опорного сигнала используются широкополосные сигналы СДВ диапазона и радиостанции стационарной системы СДВ радиосвязи FSBS.

Программа стоимостью 77 млн долларов на 5 лет должна была завершиться в 2019 году передачей радионавигационной системы СДВ диапазона на снабжение армии и ВМФ [12].

Согласно материалу, опубликованному IDST (International Defence Security and Technology) www.idstch.com [9], DARPA в рамках программы STOIC (Spatial, Temporal and Orientation Information in Contested Environments, пространственная, временная и ориентационная информация в условиях противостояния) – планирует построить радионавигационную систему на базе сигналов СДВ диапазона. До этого DARPA сообщило о выборе для исполнения этапов II и III реализации системы позиционирования СДВ программы STOIC группы компаний, возглавляемой Leidos, с поддержкой ENSCO. Поставлена задача получить более точную оценку местоположения, чем в прежних системах СДВ КВНО, путём использования новых подходов к мониторингу ионосферы.

В 2014 году DARPA выпустило анонс программы STOIC, приглашающий к сотрудничеству частные фирмы. Цели программы STOIC состоят в разработке системы, резервирующей функции GPS как системы позиционирования, навигации и передачи времени. Программа разделяется на три технических направления (ТА), которые в сочетании делают возможным создание глобальной зоны КВНО, равноценной ГНСС по характеристикам и резервирующей их:

- ТА1, устойчивый и распространяющийся на большие расстояния опорный сигнал;
- ТА2, ультрастабильные опорные генераторы тактического уровня;
- ТА3, многофункциональные тактические системы передачи данных, локально распределяющие информацию PNT между взаимодействующими пользователями.

Направление ТА1 на этапе I фокусируется на использовании СДВ радиосигналов для обеспечения устойчивого измерения расстояния для наземного позиционирования. Кроме того, на этапе 1 направления ТА1 DARPA выпустило документ, отражающий разработку детального конструирования системы позиционирования СДВ на этапе II и демонстрацию в реальном времени на этапе III.

Частоты СДВ диапазона хорошо подходят для связи на больших расстояниях ввиду малого затухания при распространении, свойств атмосферного волновода и возможности поля низких частот проникать под воду и под землю. Диапазон частот и характеристики распространения необходимо было учесть в качестве условий реализации разработки. Судя по публикациям соответствующих запросов, в начале программы DARPA искало возможности консультаций и поддержки у специалистов и организаций, имеющих опыт и технические возможности в области реализации систем связи СДВ

диапазона, протоколов модуляции, а также разработки форматов ВЧ сигналов, моделирования распространения сигнала в атмосфере, под землёй и под водой.

Общая структура системы разделяется на три сегмента, аналогично тому, как разделена архитектура GPS.

Сегмент передачи (TA1) включает новые передающие антенны СДВ и формы сигналов с повышенной устойчивостью к подавлению, а также с возможностью передачи служебных сообщений РНС.

Оптические ОГ, разработанные по STOIC TA2, сохраняют синхронизацию СДВ станций на протяжении длительного периода отсутствия GPS.

Сегмент управления включает многочисленные станции мониторинга, объединённые сетью с мощностями центра обработки данных. Именно эти станции мониторинга измеряют СДВ сигналы от передающего сегмента. Центральный вычислитель использует станции мониторинга для калибровки модели измерений в текущих условиях и генерирует системные сообщения, передаваемые пользователям через передающий сегмент.

Пользовательский сегмент включает СДВ приёмники, интегрированные с другими навигационными датчиками (такими, как инерциальная навигационная система, альтиметр и так далее) на стационарной или подвижной платформе. Односторонние измерения расстояний до СДВ передатчиков выполняются с помощью прецизионных измерений фазы несущей частоты радиосигнала совместно с дальномерным кодом и разрешения многозначности (PM) фазовых измерений.

5 Назначенные DARPA исполнители работ

На этапе I программы STOIC ENSCO тесно сотрудничало в разработке нового класса СДВ передатчиков для использования в глобальной системе КВНО СДВ диапазона в основном с Leidos, а также с другими фирмами. В разработке навигационного сигнала, удовлетворяющего требованиям DARPA к позиционированию, и оптимизации характеристик передатчиков СДВ ведущая роль принадлежала ф. ENSCO.

Этап II по выполнению детального проектирования начался после этапа I. На этапе III планировалась демонстрация в реальном времени СДВ системы позиционирования. На этапе II задачей разработчиков ENSCO также было дальнейшее развитие и тестирование адаптивных алгоритмов подавления помех на этапе постобработки. На этапе III алгоритмы, разработанные ENSCO, должны были быть интегрированы в навигационную систему DARPA для её демонстрации в реальном времени.

Кроме ENSCO, для участия в программе DARPA STOIC участвовала фирма Роквелл Коллинз (Rockwell Collins).

Роквелл Коллинз была выбрана DARPA для разработки технологий программы STOIC, целью которой было снижение в военных операциях зависимости от GPS. Согласно условиям договора, Роквелл Коллинз должна была разработать современные архитектурные и технические решения, позволяющие получить систему связи, которая должна поддерживать передачу точного времени и позиционирование независимо от GPS без ущерба для использования системы связи по основному назначению.

Как говорит Джон Боргезе, вице-президент Центра современных технологий Роквелл Коллинз, разрабатываемые фирмой функции передачи времени и дальномерных измерений должны позволить подвижным потребителям совместно обнаружи-

вать цели, «хирургически ампутировать» глушащие сигналы и служить резервом GPS для относительной (relative) навигации. Боргезе добавляет, что целью программы STOIC является разработка системы PNT, которая обеспечит независимые от GPS навигацию и синхронизацию, по характеристикам точности синхронизации существенно превосходящие GPS.

Для третьего технического направления (ТАЗ) перед Роквелл Коллинз поставлена цель разработки технических решений многофункциональной системы связи, которая позволит выполнить поставленную в программе DARPA STOIC задачу обеспечения передачи времени с пикосекундной точностью и относительного позиционирования уровня GPS.

Роквелл Коллинз разработала и протестировала несколько различных вариантов применения многофункциональных радиосистем связи для передачи времени и позиционирования с сохранением базовых функций связи:

а) Двухпутевая передача времени (Two-Way Time Transfer and Ranging, TWTR) и всенаправленная сеть передачи данных. Для демонстрации возможности создания двухпутевой системы передачи времени субнаносекундной точности были использованы полевые радиостанции военной сети передачи данных L/S диапазона тактического уровня QNT (Quint Network Technology). При использовании доработанной серийной радиостанции QNT-200 были продемонстрированы погрешности менее 1 нс с минимальным ущербом для функций связи. Эти характеристики были обеспечены при использовании современных подходов к синтезу сигнала и техники обработки времени прихода сигнала. Новые разработки радиостанций QNT работают в режиме приёма и передачи дискретных данных в более широкой полосе, что позволяет далее снизить погрешность измерения времени приёма. Новые разработки радиостанций также имеют улучшенные возможности пилотирования (калибровки) задержек фронта ВЧ сигнала и фазы в диапазоне частот.

б) 3D относительное позиционирование в системе связи с направленным излучением. Новая система связи Ku диапазона с направленным излучением, называемая COMPASS, разработана для полного 3D относительного позиционирования, а также обеспечивает надёжную широкополосную связь. COMPASS использует АФАР (electronically scanned array, ESA) для выполнения угломерных измерений от других устройств COMPASS, и в сочетании с двухпутевыми (дуплексными) измерениями это обеспечивает относительное 3D позиционирование и определение ориентации (углового положения). Разработанные Роквелл технологии ESA могут быть доступны на подвижных платформах.

в) Радиоприёмник СДВ системы позиционирования. Серийный связной магистральный приёмник Rockwell Collins KGR-72 был доработан для выполнения прецизионных измерений фазы несущей частоты радиосигнала станций стационарной системы передачи ВМФ США для подводных лодок (Navy Fixed Submarine Broadcast System, FSBS). Фазовые измерения, скорректированные с учётом эффектов распространения в ионосферном волноводе, используются для абсолютного (не между участниками группы, а относительно геоида и UTC) 2D позиционирования и синхронизации. Предварительные результаты испытаний с использованием доработанного СДВ приёмника показали его пригодность для использования в дальнейших исследованиях и испытаниях системы STOIC.

В дальнейшем использование технологий STOIC может включать множество вариантов применения относительной навигации, например, для автономной дозаправки и совместной навигации для избежания коллизий в группах БПЛА, говорит Боргезе. Это также должно обеспечить прецизионную передачу времени для сетевых операций в условиях противостояния [9].

6 Программа DARPA STOIC. Что известно о ней на данный момент

Для исследований использовался радиосигнал наземной системы СДВ радиосвязи FSBS США.

Для измерения и предсказания характеристик ионосферного волновода (EIW) использовались сигналы грозовых разрядов.

Для навигационных определений на подвижном объекте (автомобиль) использовалось комплексирование с ИНС.

При испытаниях в море получена погрешность 450 м, при прогнозе ионосферных поправок 40 м.

Финансирование завершено в 2019 году.

Исполнители работ по контрактам с DARPA фирмы ENSCO (новые передатчики, помехоустойчивый сигнал), Rockwell Collins (комплексные вопросы, приёмник), LEIDOS (передатчики).

Основная составляющая погрешности СДВ систем позиционирования – изменение времени распространения сигналов при изменении свойств (геометрии) ионосферного волновода. Основная часть исследований по прогнозированию свойств среды распространения была выполнена кафедрой радиофизики Денверского университета.

Документ финансовой отчётности «Exhibit R-2A, RDT&E Project Justification» [12] достаточно лаконично и точно характеризует назначение системы и затраты на её разработку.

Наименование: Пространственно-временная информация и информация об ориентации для условий противостояния.

Содержание: Программа STOIC обеспечит точные интегрированные результаты путём создания глобальных систем синхронизации и передачи времени, независимых от GPS. Совместно с синхронизацией времени, эта программа также обеспечит независимое от GPS определение местоположения для обеспечения точной синхронизации времени между действующими совместно мобильными пользователями. Основные особенности этой программы глобальная доступность, минимальная и недорогая инфраструктура, высокая стойкость к подавлению и равные или лучшие по отношению к GPS характеристики в локальной тактической зоне применения при использовании оптических опорных генераторов и передачи времени по оптическим линиям связи.

Содержание и стоимость работ по программе STOIC по годам приведены в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Содержание работ по программе STOIC [12]

Год	Содержание работ по программе STOIC	Затраты, млн. долл.
2015	Разработка компактных оптических ОГ, обеспечивающих автономность ШВ до года на уровне точности GPS, помехоустойчивых систем КВНО	18,425
2016	Детальное конструирование и разработка устойчивой к подавлению системы PNT, основанной на сигналах и передающих станциях связи СДВ (FSBS)	23,500
2017	Завершение разработки устойчивой к подавлению системы PNT и проведение испытаний для подтверждения характеристик	21,365
2018	Данных нет	10,457
2019	Проведение полевых испытаний СДВ радионавигационной системы для подтверждения характеристик в реальных условиях. Передача РНС СДВ диапазона на снабжение армии и ВМФ. Завершение программы	

7 Результаты мониторинга сигналов СДВ диапазона

По данным наблюдений радиосигналов СДВ диапазона, в настоящее время радиостанции СДВ непрерывно излучают широкополосные сигналы, позволяющие помимо радиосвязи использовать их для радионавигации и передачи времени. Количество одновременно принимаемых на разных частотах сигналов увеличивалось с 3-4 в 2016 году до 10-12 в настоящее время.

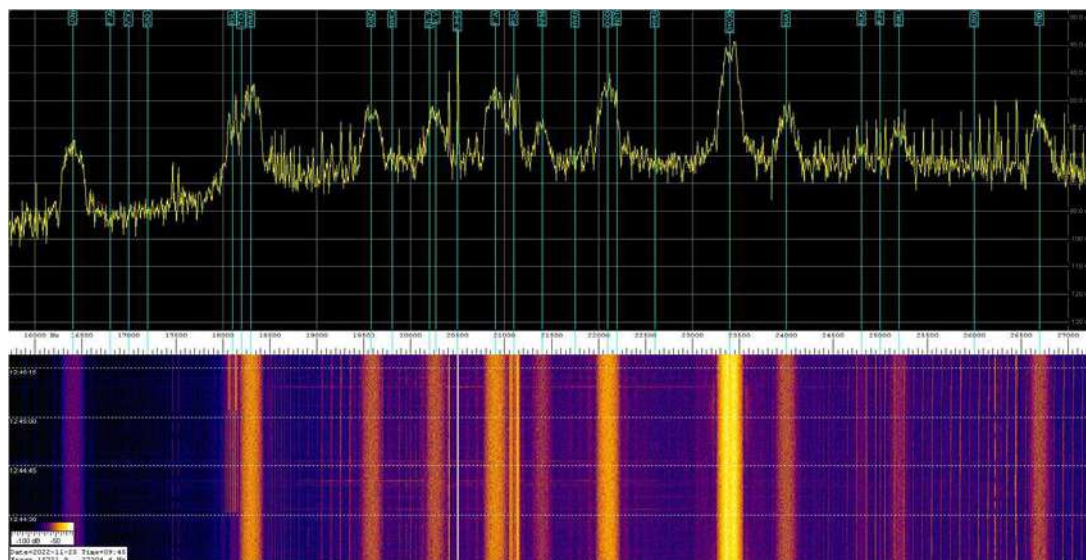


Рисунок 2 – Обзорный спектр СДВ диапазона 16-27 кГц (SpectrumLab)

Можно предположить, что данные сигналы имеют непосредственное отношение к реализации РНС СДВ диапазона по программе DARPA STOIC. Участок спектра СДВ диапазона 16-27 МГц приведён на рисунке 2.

Сигналы излучаются непрерывно круглосуточно большой мощностью (от 0,8 МВт до 2 МВт) на частотах, выделенных СДВ радиостанциям связи (Таблица 2):

Т а б л и ц а 2 – Список зарубежных СДВ станций, наблюдаемых в Санкт-Петербурге

Страна	Станция	Позывной	Частота
Норвегии	AldraIsland	JXN	16,400 кГц
Франции	Rosnay	HWU	18,300 кГц
	Sainte-Assise	FTA	20,900 кГц
Великобритании	Anthorn	GBZ	19,580 кГц
	Skelton	GQD	22,100 кГц
Австралии	Harold E. Holt	NWC	19,800 кГц
США	Lualualei, PearlHarbor HW	NPM	21,400 кГц
	Cutler, Michigan	NAA	24,000 кГц
	JimCreek, Washington	NLK	24,800 кГц
	LeMoure, NorthDakota	NML	25,200 кГц
Италии	IsoladiTavolara	ICV	20.270 кГц
Германии	Rhauderfehn	DHO38	23,400 кГц
Турции	Bafa	TBB	26,700 кГц

9 Выводы и предположения

Даже от удалённых станций отношение сигнал/шум при приёме в Санкт-Петербурге не менее 10 дБ в полосе анализа 10 Гц. При стоимости электроэнергии по промышленному тарифу 26 евроцентов за кВтЧас и при совокупной мощности передатчиков как минимум 20 МВт даже при КПД новых СДВ передатчиков, близком к 100%, затраты только на её оплату составляют 3,744 млн Евро в месяц.

Обычно для передачи сообщений системы СДВ радиосвязи телетайпом вполне достаточно коротких сеансов продолжительностью по несколько минут несколько раз в час. Непрерывный круглосуточный режим работы передатчиков скорее характерен для систем КВНО. Учитывая содержание открытых публикаций, значительные затраты на реализацию и появление в радиоэфире СДВ диапазона пригодных для использования в системах КВНО сигналов на частотах станций FSBS (которые и в публикациях названы в качестве передающих станций в программе STOIC), можно предположить, что система успешно реализована и используется, несмотря на значительные материальные затраты на её реализацию и оплату колоссального потребления электроэнергии.

Заключение

Таким образом, после периода подавляющего преобладания в конце 90-х-начале 2000-х годов технических и организационных решений, основанных на применении ГНСС, за рубежом уже 8 лет наряду с использованием многочисленных альтернативных способов позиционирования прослеживается тенденция к возрождению наземных систем КВНО ДВ и СДВ диапазонов. Исходя из данных открытых публикаций, новая радиотехническая система дальней навигации СДВ диапазона создаётся на основе СДВ радиостанций связи наземного базирования (FSBS). На частотах, выделенных передатчикам системы, непрерывно наблюдаются широкополосные радиосигналы большой интенсивности, что характерно скорее для радионавигационной системы, но не для системы радиосвязи.

Литература

1 ФГУП ВНИИФТРИ. Бюллетень В 17/2020 Эталонные сигналы частоты и времени. Характеристики и программы передач через радиостанции, наземные и космические средства навигации, глобальную сеть Интернет. Менделеево, 2020 г.

2 “The Vulnerability Assessment of the Transportation Infrastructure Relying on the Global Positioning System,” John A. Volpe National Transportation System Center (Volpe) report of August 20, 2001.

3 Tuesday, January 15, 2013. Navigational backup to aid ships in Dover straits link. <http://blog.geogarage.com/2013/01/navigational-backup-to-aid-ships-in.html>.

4 Guy Buesnel From downed drones to stolen quadbikes: are view of GNSS vulnerabilities in 2021 <https://rntfnd.org/2021/12/14/from-downed-drones-to-stolen-quad-bikes-a-review-of-gnss-vulnerabilities-in-2021-guy-buesnel-on-linkedin/> Перевод Г.В. Карнапукова Санкт-Петербург РИПВ, 2022: Гай Бьюсел (Guy Buesnel) От сбитых дронов до украденных квадроциклов: обзор уязвимостей ГНСС в 2021 году. Опубликовано 14 декабря 2021 года.

5 Woo Hyun Kim, Pyo-Woong Son, Sul Gee Park, Sang Hyun Park, and Jiwon Seo, «First Demonstration of the Korean eLoran Accuracy in a Narrow Waterway Using Improved ASF Maps» IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS, VOL. 00, NO. 0, JUNE 2021.

6 John Burke Program Manager. Презентация: DARPA positioning, Navigation, and Timing (PNT) Technology and their Impacts on GPS users. DARPA/МТО Электронный-ресурс: GPS Advisory Board. www.darpa.mil. 5 June 2019.

7 Resilient Navigation and Timing Foundation – RNTF (Фонд устойчивой навигации и синхронизации). President Signs Law Requiring Demo of GPS Backup System. (Президент подписал закон, требующий демонстрации возможностей резервной системы для GPS). <https://rntfnd.org/2017/12/13/president-signs-law-requiring-demo-of-gps-backup-system/>

8 Andrew Hansen, Ph.D., Stephen Mackey, Hadi Wassaf, Ph.D., Vaibhav Shah, Eric Wallischeck, Christopher Scarpone, Michael Barzach, Elliott Baskerville Complementary PNT and GPS Backup Technologies Demonstration Report Sections 1 through 10 January 2021 DOT-VNTSC-20-07 Prepared for: Office of the Assistant Secretary for Research and Technology, Department of Transportation.

9 IDST DARPA developing Very Low Frequency (VLF) systems to provide GPS like position and timing technologies in contested, underwater and underground Environments idstch.com.

10 Regulus Spoof, Jam, Destroy. Why We Need A Backup For GPS. Cyber.htm Regulus.com.

11 DARPA Eyes ‘Very Low Frequency’ Signals For PNT Systems as GPS Backup (executivegov.com).

12 Exhibit R-2, RDT&E Budget Item Justification: PB2017 Defense Advanced Research Projects Agency Date: February 2016.

13 ENSCO Selected Team Member for DARPA STOIC Program Phase II and III (www.ensco.com).

14 New Global Navigation System Could Guard U.S. Military Against GPS-Attacks. (www.forbes.com/sites/).

Белянкин Павел Владимирович, главный специалист, АО «РИРВ», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: низкочастотные радиотехнические системы дальней навигации и передачи сигналов времени наземного базирования, цифровая обработка широкополосных сигналов.

E-mail: nos.rnv@goz.ru

Жуков Евгений Тимофеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ИПА РАН, г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: системы передачи и хранения времени, координатно-временное и навигационное обеспечение, радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой.

E-mail: nos.rnv@goz.ru

Почтовый адрес: 192012, Санкт-Петербург, проспект Обуховской обороны, дом 120.

THE ACTUAL TRENDS OF FOREIGN GROUND-BASED PNT SYSTEMS DEVELOPMENT

The main actual trends and technical features and principles of a new foreign ground-based PNT systems are substantiated. Some data of DARPA STOIC development program and results of monitoring a proposed of new PNT VLF system signals are discussed.

Keywords: positioning, navigation and timing (PNT) system, DARPA, STOIC, radio navigation system, time transfer system, time scale synchronization, very low frequency (VLF) band.

Belyankin Pavel Vladimirovich – main specialist, JSC «Russian Institute of Radio Navigation and Time» (JRC RIRT), St. Petersburg.

Research interests: Low frequency ground based long range PNT systems, broad band signals digital processing

Zhukov EvgenyTimofeevich – Institute of applied astronomy of Russian academy of Sciences (IAARAS), St. Petersburg.

Research interests: time transfer and keeping, PNT, TWSTFT and VLBI systems.

ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СМБП В УСЛОВИЯХ НАУКОЕМКОГО МЕЛКОСЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Малафеевский Т.А., Курчанов И.А., Дудорова Н.А.

В статье рассматриваются практика и проблематика внедрения, развития и сертификации системы менеджмента бережливого производства (СМБП) на предприятиях, в сферу деятельности которых входит проектирование и производство мелкосерийной и (или) единичной продукции гражданского, военного или двойного назначения, имеющих функционирующую систему менеджмента качества (СМК). В материале показано, что в основе развертывания СМБП на подобных предприятиях лежат процессный подход и лидерство высшего руководства. В виде IDEF-0 модели показан процесс работы над созданием и поддержанием СМБП. Указаны основные задачи, а также сложности и возможности, возникающие при подготовке СМБП к сертификации. Сделана попытка определить приоритетные области развития СМБП научно-производственных предприятий на основе имеющейся документации. Соображения относительно развития СМБП изложены с учетом уникальности и малых объемов выпуска продукции.

Ключевые слова: бережливое производство, система менеджмента бережливого производства, процессный подход, сертификация систем менеджмента, аудит, поток создания ценности, требования потребителя, производственные условия, стандарт организации, интегрированная система менеджмента.

Введение

Внедрение системы менеджмента бережливого производства в организации любого рода деятельности направлено на снижение потерь при выполнении текущих операций. В последнее время авторами и исследователями в области систем менеджмента бережливого производства неоднократно отмечалась применимость принципов и инструментов бережливого производства не только к процессам собственно производства, но и к офисным и наукоемким процессам [1]. Идеи бережливого производства распространяются даже на сферу государственного управления, о чем свидетельствуют употребляемые понятия «бережливое государственное управление» и «бережливый регион» [2]. Повод для формального выделения СМБП и ее последующего комплексного развития для каждой отдельно взятой организации различен и может быть обусловлен стремлением соответствовать требованиям конечного потребителя или же требованиям заинтересованных сторон внутри организации. Важно понимать, что первичным должно быть стремление к соответствию требованиям внешнего потребителя, поскольку именно им определяется ценность и именно он оплачивает готовую продукцию. Выстраивая СМБП исключительно формально, без учета реальных требований потребителя и без определения процессов в соответствии с данными требованиями, организация рискует превратить регулярный анализ и составление отчетов

тов о функционировании СМБП в самоцель, что в конечном счете обесценивает работу сотрудников структурного подразделения БП. Задачей настоящей статьи является не только описание процесса внедрения и развития СМБП, но и анализ ее возможностей оказывать благотворное влияние на достижение поставленных мелкосерийным наукоемким производством целей, определение сильных и слабых сторон функционирующей системы.

1 Внедрение СМБП как шаг к единству систем управления группы предприятий

В настоящее время имеется тенденция к объединению научно-производственных предприятий (часто в форме концерна) или под головной организацией (ГО) с целью увеличения их операционной эффективности. Внедрение СМБП на отдельных предприятиях производственных объединений обусловлено приведением их структуры управления к единым принципам, что должно обеспечить ясность процедур выполнения текущей деятельности в рамках производственных, управленческих и обеспечивающих процессов. Примерами реализации общих принципов построения СМБП отдельного предприятия внутри объединения и системы менеджмента бережливого производства и операционной эффективности производственного концерна являются:

- ориентация на стандарты объединения при разработке локальных стандартов;
- организация работы СМБП и СМК отдельного предприятия на общих принципах, подобно тому как функционирует интегрированная система менеджмента (ИСМ);
- внедрение соответствующими приказами документов интегрированной структуры предприятий как руководящих и обязательных для исполнения в каждой организации.

Развитие систем управления на предприятиях производственных объединений возможно по сценарию, предусматривающему охват всех процессов организации и их абсолютную стандартизацию, что приведет к необходимости поддержания ИСМ, предусматривающей сертификацию на соответствие дополнительным требованиям по мере выхода и внедрения новых национальных стандартов, содержащих требования к системам менеджмента.

В идеале системы менеджмента бережливого производства и менеджмента качества строятся на единых принципах, о чем, как правило, свидетельствует организация системы локальных стандартов организации. В Руководстве по бережливому производству следует учесть, что основная цель работы СМК и СМБП - удовлетворение требований заинтересованных сторон. Также полезно обеспечить применимость ряда СТО СМК в рамках функционирования СМБП и возможность совмещения проверок выполнения требований к СМК и СМБП в рамках комплексного аудита.

Выстраивание систем бережливого производства, а затем – ИСМ, с одной стороны, способно в перспективе повысить прозрачность деятельности, распространить лучшие практики внутри организации, а также обеспечить понятные механизмы реализации предложений и проектов по улучшению. Но, с другой стороны, оно же создает проблему, связанную с поддержанием актуальности документации ИСМ и составлением отчетных материалов, которые сами по себе не несут ценности для потребите-

ля, особенно когда они связаны исключительно с документацией, а не с сутью протекающих в организации процессов.

2 Процесс развертывания СМБП и его декомпозиция

К настоящему времени мировая практика внедрения бережливого производства довольно обширна, но базируется на наработках производственной системы Тойоты, связанной с рядом имен японских специалистов по качеству и бережливому производству, таких как Тайити Оно. В современных публикациях, где рассматриваются алгоритмы внедрения СМБП, указываются 6 авторов и соответственно 6 алгоритмов, один из которых принадлежит Тайити Оно [3]. Однако Оно в своем подходе ориентируется больше на крупносерийное производство относительно простых изделий. Ряд других алгоритмов также содержит некоторые недостатки. Например, алгоритм Денниса Хоббса ориентирован только на создание бережливой линии, алгоритм Джеффри Лайкера, на наш взгляд, предусматривает внедрение СМБП на недостаточно системной основе, когда связный процессный поток обозначается только в середине процесса внедрения. Майкл Вейдер уделяет много внимания рабочим местам, предлагая работать с самым неэффективным процессом в самом начале с помощью внедрения 5S, что довольно сложно реализовать в условиях нехватки кадрового состава в структурных подразделениях СМБП и постоянной необходимости составления отчетов. Мы считаем, предприятиям рассматриваемой в настоящем материале сферы деятельности лучше всего подходит совмещение идей Сигэо Синго и Джеймса Вумека. Первый ученый после обеспечения условий для деятельности персонала предлагает стабилизировать и описать процессы (подходит на начальной стадии внедрения СМБП), в то время как второй выдвигает идею о необходимости выбора лидера при дальнейшем формировании и обучении проектной команды для осуществления изменений.

Практическая реализация внедрения СМБП часто осуществляется на основе совмещения идей Синго и Вумека при уделении, как видится, большего внимания проектной деятельности, чем определению системы процессов и установлению числовых критериев их функционирования, что будет далее указано при рассмотрении вопроса зрелости СМБП.

Опыт выведения СМБП на уровень возможности сертификации позволяет отразить и декомпозировать данный процесс в нотации IDEF-0 [4] на рисунках 1 и 2 соответственно.

В левом нижнем углу каждой из пиктограмм последовательных процессов внедрения СМБП от ее выделения в качестве логического развития СМ организации до сертификации указано примерное время в месяцах на реализацию данных процессов. Становление СМБП, по нашим наблюдениям и имеющейся практике, составляет не менее 3 лет. Кроме того, у рассматриваемого нами типа организаций имеются некоторые особенности, влияющие на работу с показателями процессов. Они указаны далее.

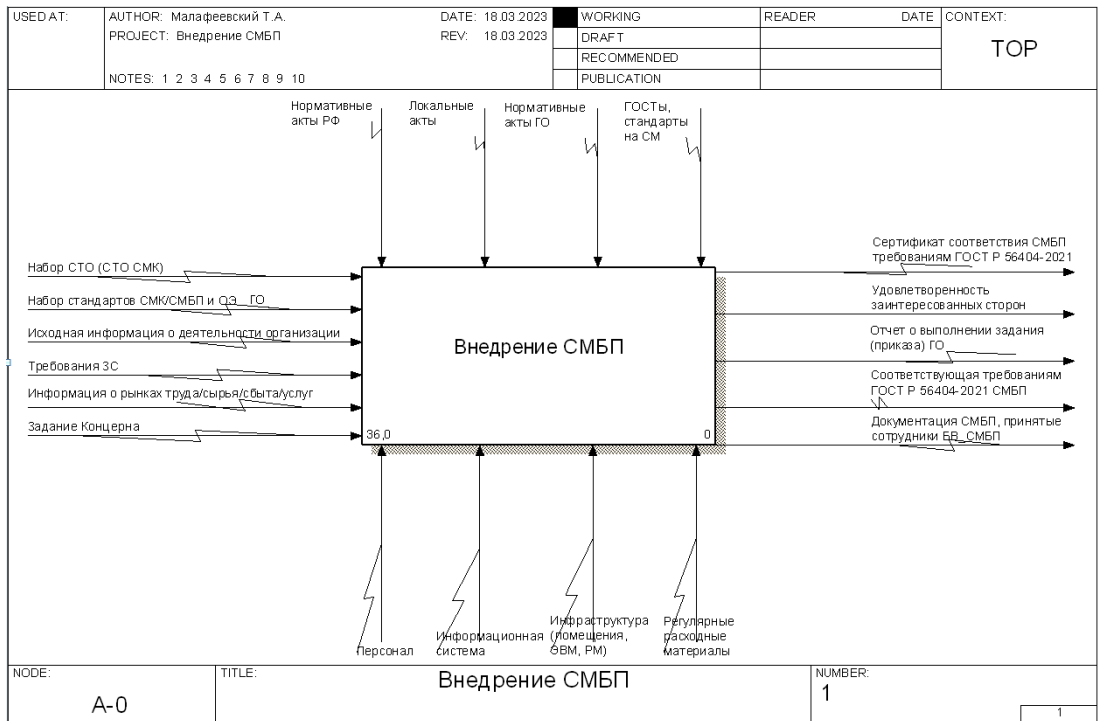


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма процесса внедрения СМБП

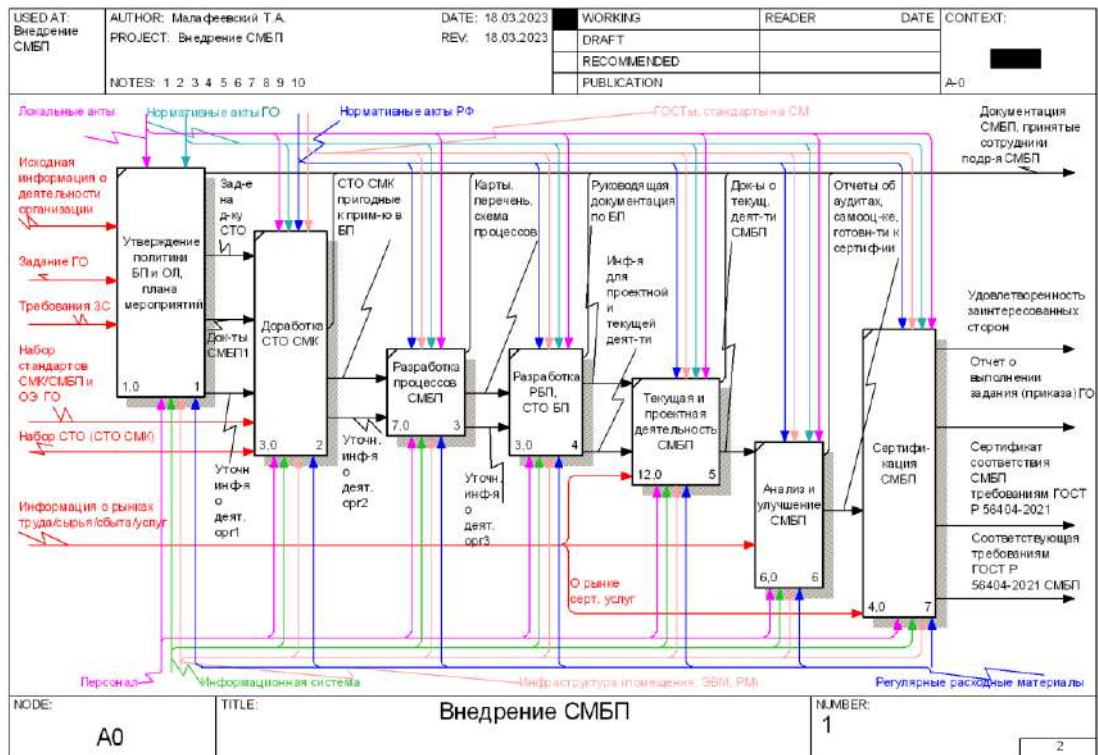


Рисунок 2 – Декомпозиция процесса внедрения СМБП

3 Влияние наукоемкости и мелкосерийности на процесс внедрения СМБП

Отличительными чертами основной деятельности организаций, занимающихся производством технически сложных наукоемких изделий, являются:

- научно-исследовательский характер работы при проектировании изделий;
- преобладание мелких серий продукции (несколько штук в серии).

Дело в том, что организации подобного вида не являются классическими заводами с массовым выпуском изделий, как это изначально предполагала концепция бережливого производства. Процессы «Разработка и проектирование» и «Производство» меняются каждый раз при смене типа выпускаемого изделия, что происходит гораздо чаще, чем на предприятиях с крупными сериями продукции, тем более если продукция не является наукоемкой. Данные особенности оказывают значительное влияние на возможность разработки понятных и универсальных показателей процессов организации, связанных с проектированием и производством. Здесь представляется логичным в случае каждого уникального продукта исходить из конкретного технического задания от конечного потребителя. В техническом задании может быть не предусмотрен тот или иной параметр процесса (например, неизвестен точный срок проектирования или завершения его этапов). В подобном случае представляется уместным установить его экспертным методом с дальнейшей оценкой качества выполнения по синтетически разработанной (в случае установления сроков) или процентной (в случае работы с показателями несоответствий или удовлетворения требований) шкале.

4 Процессы СМБП и принципы их выделения

Рассмотрев декомпозицию процесса внедрения СМБП и отличительные черты научных производственных организаций, мы можем заключить, что выделение процессов и их описание является ключом к становлению системы сбора обратной связи о функционировании СМБП и доведению ее до состояния, предусматривающего возможность сертификации. Проблемным и дискуссионным является вопрос о соответствии процессов организации процессам СМБП. Должна ли СМБП иметь только собственные процессы, или же нужно охватывать воздействием системы менеджмента бережливого производства процессы самой организации? К сожалению, найти в свободных источниках обсуждение подобных тонкостей проблематично. Однако здесь можно воспользоваться аналогией с ситуацией внедрения системы менеджмента качества. В.А. Качалов, заместитель главного директора ООО «Интерсертифика»-ТЮФ, сеньор-аудитор TÜV International Certification по ISO 9001 в статье «Какие процессы необходимы для СМК?» сделал попытку разобраться в данном вопросе. Основной вывод его работы заключается в следующем: при отсутствии у предприятия цели сертифицировать систему менеджмента в СМК может быть включен любой набор процессов [5]. Если же необходим выход на сертификацию, то основным требованием к процессам системы менеджмента является охват требований стандарта – критерия сертификационного аудита, которым для СМБП на настоящий момент является ГОСТ Р 56404-2021 [6].

Если обратиться к материалам сайта школы бизнеса «Управляй будущим», в них можно найти идею разбиения процессов системы менеджмента на примере СМК на категории «Поддерживающие» и «Управляющие». Причем среди примеров под-

держивающих процессов выделяется, например, «Обслуживание ИТ-структуры компании» - процесс, не предусмотренный укрупненными пунктами требований ГОСТ Р 56404 и, согласно идее В.А. Качалова, не являющийся в силу этого нужным в составе процессов системы менеджмента [7].

Учитывая противоречивость и неоднозначность информации в открытых источниках, на практике часто путь выделения процессов СМБП в соответствии с процессами организации считают оптимальным, поскольку они (как показывает практика аудитов второй стороны и сертификационного аудита) обеспечивают охват большинства требований стандарта. Кроме того, установление требований СМБП к процессам организации упрощает определение владельцев данных процессов и деятельность по установлению численных характеристик их нормального функционирования.

Набор процессов СМБП и регулирующие их документы в организациях рассматриваемого типа можно в целом определить так, как показано в таблице 1 (набор регулирующей документации не является исчерпывающим).

Т а б л и ц а 1 – Типовой реестр процессов СМБП научно-производственной организации с примерами регулирующей документации

1. Управление человеческими ресурсами
СТО: «Подготовка персонала»; «Аттестация работников»; СО: по управлению кадровым резервом; по оценке уровня подготовки персонала предприятий-изготовителей в области качества; Положения: об обучении персонала; о внутренних обучающих мероприятиях и разработке информационных материалов для базы знаний
2. Управление инфраструктурой и производственной средой
СТО «Среда для функционирования процессов»
3. Взаимодействие с потребителями
СТО «Исследование отказов и рекламационная работа»
4. Управление качеством (управление несоответствующей продукцией)
СТО: «Контроль качества продукции»; «Корректирующие и предупреждающие действия»; «Аудит СМК контрагентов»; «Управление несоответствующей продукцией; ведение карт разрешения на отступление от конструкторской документации
5. Ремонт и гарантийное обслуживание
СТО «Порядок проведения ремонта изделий»
6. Технологическая подготовка производства
СТО: «Технологическая подготовка производства. Порядок обеспечения технологичности конструкции и проведения технологического контроля конструкторской документации»; «Порядок проведения метрологического надзора»; «Управление оборудованием для мониторинга и измерений. Средства измерений и индикаторы»; «Технологическая дисциплина производства. Порядок проведения контроля»
7. Проектирование и разработка
СТО: «Проектирование и разработка. Программное и информационное обеспечение. Порядок разработки, изготовления, испытаний, сдачи заказчику и сопровождения»; «Проектирование и разработка. Тактико-техническое (техническое) задание. Порядок разработки, оформления, экспертизы, согласования и утверждения»;

«Контроль и испытания опытных образцов».
8. Закупки
СТО «Закупки»; Положение о закупке; Инструкция «Проверка поставщика товаров, работ, услуг»
9. Производство
СТО: «Порядок ведения журналов изменений в производстве»; «Порядок разработки и оформления документов пооперационного контроля при производстве изделий»; «Управление особо ответственными и специальными технологическими процессами»; «Постановка продукции на производство»
10. Внутренние аудиты
СТО «Внутренние аудиты»; стандарт объединения «СМБП и операционной эффективности. Аудит в области бережливого производства»
11. Анализ СМБП со стороны высшего руководства
СТО «Внутренние аудиты»; по инструментам менеджмента бережливого производства (в части оценки их применения); СО «СМБП и операционной эффективности. Аудит в области бережливого производства»
12. Управление документированной информацией СМБП
СТО: «Научно-техническая информация. Анализ и обеспечение. Общие положения и порядок взаимодействия подразделений»; «Управление документами по стандартизации внешнего происхождения»; «Порядок разработки, передачи в производство и корректировки конструкторской документации опытного образца»
13. Анализ и улучшение СМБП
СТО: «Внутренние аудиты»; по инструментам менеджмента бережливого производства (в части оценки их применения); СО по аудитам в области бережливого производства
14. Управление проектами в области бережливого производства
СТО «Управление проектами в области бережливого производства»; СО «СМБП и операционной эффективности. Управление проектами в области бережливого производства»
15. Управление операционной эффективностью
СО: «Управление проектами в области бережливого производства», «Мониторинг результативности мероприятий в области бережливого производства», «Инструменты и методы бережливого производства. Организация рабочего пространства», «Требования к СМБП организаций интегрированной структуры»

Примечание: СТО – стандарт организации, СО – стандарт объединения

Цели предусмотреть декомпозицию в виде подпроцессов для данного типового реестра в настоящей статье не стояло, однако из приведенной выше таблицы понятно, что выполнение процессов верхнего уровня может быть в достаточной степени урегулировано стандартами. Они могут быть как внутренними, так и изданными для объединения, что позволяет обращаться к нормативной документации для понимания общей логики выполнения процессов верхнего уровня. Далее рассмотрим типовую документацию СМБП научно-производственного предприятия подробнее.

5 Оценка усредненного уровня готовности документации предприятий расматриваемого типа к сертификации

Первый этап сертификационного аудита проводится дистанционно и предполагает анализ документации СМБП сертифицируемой организации на предмет соответствия требованиям национального стандарта. При этом проверяются конкретные типы документов. Ниже, в таблице 2, на основе опыта изложены соображения и типичном уровне готовности документации научных предприятий мелкосерийного производства к сертификации и отмечена степень сложности подготовки тех или иных видов документации по пятибалльной шкале с учетом организационной специфики.

Т а б л и ц а 2 – Степень и сложность подготовки документации СМБП к сертификации

Вид документации / комментарий относительно готовности к сертификации СМБП, сложность подготовки в баллах (от 1 до 5)
Политика в области СМБП / разработана, введена, актуальна и распространена по подразделениям, (1)
Руководство в области СМБП / имеется, но требует актуализации, (3)
Организационная структура / подробно представлена на внутреннем сайте, имеется кодификатор, (1)
Реестр процессов организации / имеется на уровне первой декомпозиции и утвержден, отражен в Руководстве по бережливому производству (РБП), (3)
Схема взаимодействия процессов / имеется, соответствует реестру процессов, отражена в РБП, (3)
Документированные процедуры процессов СМБП / каждый из процессов регулируется хотя бы одной имеющейся процедурой, предусмотренной СТО/СО, (5)
Карты процессов / карты процессов нуждаются в доработке и актуализации, приведении в соответствие с текущей процессной моделью, (4)
Заинтересованные стороны и их потребности / РБП содержит информацию о заинтересованных сторонах, целесообразно проведение SWOT-анализа, (3)
Цели в области бережливого производства / цели в области бережливого производства разработаны на 2023 год на уровне организации, (3)
Документация по проектам СМБП / имеется множество свидетельств реализации проектов, рассчитан экономический эффект, (5)
Процедура мониторинга осведомленности об СМБП / предусмотрена в виде анкетирования, образец анкеты приведен в РБП, мониторинг осведомленности также проводится при обучении методам СМБП и аудитах СМБП, (5)
Документальные подтверждения лучших практик / присутствуют в виде ППУ, проектов, Кайдзен-предложений, отражены в инструкциях и СТО, (4)
Документация, подтверждающая прохождение персоналом обучения БП / имеются сертификаты прохождения внутреннего обучения СМБП за последние годы, а также сертификаты, полученные сотрудниками организации на внешних курсах, (4)
Процедуры обеспечения ресурсов СМБП / имеются СТО, регулирующие процессы закупок, управления средой для процессов и работы с персоналом, (5)
Документация о характеристиках ПСЦ, его составе, методах БП в нем / карты ПСЦ

имеются для ограниченного числа процессов, методы БП в процессах описываются в публикациях и СТО, а также в проектной документации, (5)
Свидетельства оценки компетентности в СМБП / имеются в виде сертификатов о прохождении курса по БП, (4)
ДИ по планированию операционной деятельности / имеется утвержденная программа повышения эффективности операционной деятельности, (4)
ДИ, устанавливающая критерии функционирования процессов / для каждого процесса есть не менее одного регулирующего стандарта, (5)
ДИ, подтверждающая применение статистических методов в СМБП / присутствует в виде публикаций и проектов, (3)
Приказ о проведении внутренних аудитов СМБП / присутствует либо план-график (п. 21) утверждается без приказа, (2)
План-график внутренних аудитов СМБП / имеется, утвержден, (2)
Приказ о составе аудиторской группы (реестр аудиторов) / имеется в виде реестра внутренних аудиторов, (1)
План КД по итогам внутренних аудитов / имеется план мероприятий на предыдущий год, мероприятия которого частично переходят в следующий год, (4)
Отчет о реализации КД / выполнен в виде отчетов о работе СМБП, систематически не разрабатывается, (5)
Отчет об итоговом анализе СМБП руководством / имеется в виде отчетов по аудитам, протоколов собраний по качеству, плана мероприятий, (5)
ДИ об установлении характера несоответствий, действиях по ним и результатам КД / представлено документацией пунктов 23-25, (4)
Ознакомительные листы с подписями об ознакомлении / имеются ознакомительные листы для Политики БП, приказа о назначении представителя СМБП, владельцев процессов СМБП, а также основных стандартов СМБП, (4)

В описанной в таблице 2 ситуации по итогам первого этапа сертификационного аудита уровень подготовки к сертификации СМБП может быть определен как «высокий». Имеется вся основная документация СМБП. При этом часто текущая отчетная и аналитическая информация подготавливается медленнее, а проекты реализуются тяжелее, чем ожидается (в силу кадровых перестановок), поэтому, как правило, важно обеспечить комплектность подразделения СМБП и организовать рабочие группы, особенно по описанию текущего состояния процессов и ПСЦ.

6 Типичный уровень зрелости СМБП при мелкосерийном наукоемком производстве

Практика показывает, что уровень зрелости СМБП предприятий растет с течением времени, о чем свидетельствуют показатели выполнения требований к СМБП, определяемые по результату аудитов второй стороны. Однако, как правило, уровень зрелости СМБП организации согласно ГОСТ Р 56406-2021 определяется как уровень 4 «на пути к совершенству СМБП», что ниже 5-го уровня «признание совершенства СМБП», для достижения которого нужно набрать от 66% и выше баллов при оценке выполнения требований ГОСТ Р 56404-2021 [8]. Ниже, на рисунке 3, отражена диа-

грамма-паутина, на которую вынесена степень выполнения требований стандарта на СМБП на 2 контрольных периода для научного мелкосерийного предприятия производственного объединения.

Как можно видеть, наибольшие проблемы на 15.10.2022 наблюдаются по разделу «Планирование». Среди мероприятий по улучшению реализованы: выделение рисков недостижения целей в области СМБП на год, декомпозиция целей в области СМБП с учетом принципа SMART [9]. Это позволяет говорить о закрытии ряда несоответствий. Кроме того, помимо текущей работы СМБП, решено внести корректировки в Руководство по бережливому производству, что также позволяет закрыть ряд несоответствий. Ниже, в таблице 3, представлены риски недостижения научным предприятием его целей, определенные руководством по СМБП рассматриваемого предприятия совместно с подразделением СМБП.



Рисунок 3 – Степень реализации требований стандарта на СМБП

Таблица 3 – Риски недостижения целей предприятия на 2023 год (P – вероятность возникновения, S – тяжесть последствия, P*S – значение уровня риска)

Описание риска			Мероприятия по воздействию на риск
P	S	P*S	
Повышение операционной эффективности и снижение издержек			
Высокая загруженность работников, участвующих в реализации Плана мероприятий по развитию СМБП			Включение мероприятий Плана развития СМБП в планы мероприятий подразделений, участвующих в их реализации; доукомплектация подразделения СМБП; инициативное взаимодействие представителей СМБП и подразделения СМБП с руководителями подразделений для своевременной организации проектов по улучшению в актуальных областях
4	4	16	
Недостаточные компетенции работников в области БП, задействованных в реализации Плана			Проведение планового внутреннего обучения сотрудников методам и инструментам БП; проведение предпроектного внутреннего обучения участников рабочих групп проектов в области БП (посредством СДО Моо-

по развитию СМБП			dle и т.д.); включение в рабочие группы по проектам в области БП участников различных подразделений
3	3	9	
Недостаточная исполнительская дисциплина сотрудников при реализации проектов в области БП			Применение методик скрам/канбан доски и спринтов по проектам с еженедельным контролем руководителем, куратором и участниками проекта; Проведение анализа выполнения Плана мероприятий по развитию СМБП высшим руководством в форме совещаний еженедельно
4	3	12	
Вовлечение персонала организации в деятельность по постоянному улучшению			
Отсутствие мотивации персонала подавать Кайдзен-предложения			Установление базовой ставки материального вознаграждения за подачу каждого Кайдзен-предложения
3	2	6	
Недостаточная исполнительская дисциплина при реализации предложений по улучшениям			Обсуждение выполнения плана мероприятий по реализации Кайдзен-предложений на совещаниях ПРБП еженедельно с ведением протокола совещания
3	3	9	
Отсутствие осведомленности о возможности подачи Кайдзен-предложения у производственных и разрабатывающих подразделений			Организация периодического информирования о возможных способах подачи Кайдзен-предложения, разработка инструкции по подаче Кайдзен-предложения
4	3	12	
Развитие компетенций персонала организации в области БП			
Отсутствие предложений по обучению методам БП с учетом ограничений по финансовым затратам на рынке обучающих программ			Продолжение осуществления внутреннего обучения методам и инструментам БП; совершенствование и расширение содержания обучающего курса
3	4	12	
Отсутствие осведомленности и желания персонала проходить дополнительное обучение			Совершенствование методов вовлечения в образовательный процесс; обсуждение и согласование кандидатур на обучение с руководителями структурных подразделений в соответствии с уровнем производственной необходимости
4	3	12	
Результативное функционирование и постоянное совершенствование СМБП			
Невыполнение обязатель-			Вовлечение компетентных специалистов и высшего

ных требований ГОСТ Р 56404 в полном объеме (невозможность сертификации)	руководства в процесс подготовки к сертификации; оперативное устранение максимально возможного количества замечаний и несоответствий, выявленных в ходе аудита второй стороны согласно предыдущим отчетам	
3	3	9
Недостижение более высокого уровня зрелости СМБП в отчетном году	Проведение мероприятий согласно Плану развития СМБП, применение лучших практик при ведении проектной деятельности; проведение анализа выполнения Плана мероприятий по развитию СМБП высшим руководством на совещаниях еженедельно	
3	4	12
Отсутствие мотивации у сотрудников осваивать новые методы БП	Разработка комплекса мероприятий по мотивации сотрудников (предоставление сертификата о внутреннем обучении, выплата премии за обучение/подачу предложений по улучшению/реализацию проектов)	
3	3	9
Отсутствие заинтересованности подразделений в развитии СМБП	Повышение материального вознаграждения за участие в проектах в области БП, организация конкурса проектов в области БП и обеспечение своевременной выплаты вознаграждения	
3	2	6

Как можно видеть, наибольшей угрозой невыполнения целей СМБП является загруженность работников, занятых реализацией мероприятий СМБП. Речь идет не только о самом подразделении СМБП, но и о руководстве, имеющем множество задач с высоким приоритетом. Этот факт и то, что персонал подразделений, которые должны были бы быть задействованы в развитии СМБП, не имеет достаточной мотивации, затрудняет реализацию целей СМБП. Для решения данной проблемы в первую очередь необходима доукомплектация подразделения СМБП, а затем – налаживание взаимодействия подразделений организации с руководством СМБП и подразделением СМБП, в особенности – создание рабочих групп для описания процессов и картирования потоков создания ценности, что является назревшей проблемой, требующей оперативного решения.

7 Выводы и рекомендации по развитию СМБП организаций

Исходя из опыта подготовки СМБП к сертификационному аудиту можно заключить, что попытка организации с показателями, представленными на рисунке 3, пройти сертификацию оправдана, поскольку имеется достаточный объем документации и сильная сторона СМБП в виде развитой проектной деятельности.

В то же время зачастую наблюдающийся кадровый голод подразделений СМБП негативно сказывается на скорости и самой возможности воплощения мероприятий СМБП в жизнь, что усугубляется высокой занятостью руководства и приводит к невозможности быстрого принятия управленческих решений по развитию СМБП в глобальном смысле.

В-третьих, основная документация СМБП обычно разработана и поддерживается в актуальном состоянии, однако документация по процессам и потокам создания ценности нуждается в серьезной доработке. У организаций для этого имеются разработанные СТО, используемые при выполнении процессов, персонал, вовлеченный в

них и имеющий опыт, представление о составлении карт процессов и потоков создания ценности, но недостаточно кадровых ресурсов подразделения СМБП и силы административного воздействия.

Несмотря на довольно высокую нагрузку на персонал, занятый СМБП, на настоящий момент имеется положительная практика достаточно быстрого развития СМБП с уровня 4 до уровня 5 согласно шкале зрелости и прохождения двух этапов сертификационного аудита, то есть практика, когда основная документация и реальная деятельность организации признана соответствующей требованиям ГОСТ Р 56404-2021, а значит приоритетной областью работы на следующие периоды является установление тесного взаимодействия сотрудников, занимающихся БП, со структурными подразделениями для оказания методической помощи в усовершенствовании их документации и доведения принципов БП до персонала.

Стоит отметить, что оценка СМБП осуществляется не простым суммированием баллов. Если обязательные требования стандарта ГОСТ Р 56404-2021 по разделу не выполняются на 100%, то выполнение дополнительных требований не оценивается, что приводит к обнулению баллов за них. В связи с этим необходимо сконцентрироваться на выполнении обязательных требований, для чего в том числе стоит составить актуальные карты процессов.

Исходя из вышесказанного, работа подразделения СМБП в приведенной организации на ближайшую перспективу представляется следующим образом: подразделение СМБП доукомплектовывается, специалист и руководитель подразделения СМБП в составе рабочей группы работают над описанием процессов и ПСЦ, руководитель проектного направления взаимодействует с подразделениями с целью инициации и воплощения (включая оказание методической помощи) новых бережливых проектов. Руководство СМБП и владельцы процессов СМБП, которых следует назначить в соответствии с актуальной процессной моделью, обеспечивают помощь и необходимое административное воздействие для удобства деятельности рабочей группы по описанию процессов и ПСЦ. Свидетельства такого взаимодействия, оформленные документально, кроме всего прочего, помогут поднять баллы по разделу «Лидерство» при следующей оценке СМБП.

Литература

1 Чистникова И.В., Якимчук С.В., Дружникова Е.П. «Бережливый офис» как стратегическое преимущество компании // Научный результат. Экономические исследования. – 2019. – № 1, Т. 5. – С. 77-83.

2 Васильева О.Н., Морозова Н.В., Васильева И.А. Перспективы развития бережливого правительства в регионе // Вестник Удмуртского университета. Серия «Экономика и право». – 2021. – вып. 5, Т. 31. – С. 807-811.

3 Сторож И.А. Алгоритмы внедрения бережливого производства. Стандарты и качество // ria-stk.ru. – URL: <https://ria-stk.ru/stq/adetail.php?ID=106223> (дата обращения: 16.03.2023).

4 Андерсен Бьёрн. Бизнес-процессы. Инструменты совершенствования /Пер. с англ. С.В.Ариничева. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2003. – 272 с.

5 Качалов В.А. Какие процессы «необходимы для СМК». Методы менеджмента качества // www.qcert.ru. – URL: <https://www.qcert.ru/information/publications/>

docs/kakie-protsessy-neobkhodimy-smk/?ysclid=lfj088a9780458710 (дата обращения: 17.03.2023).

6 ГОСТ Р 56404-2021. Бережливое производство. Требования к системам менеджмента.

7 Сайт школы бизнеса «Управляй будущим». Процессы системы менеджмента качества // u--b--s-gu.turbopages.org. – URL: <https://u--b--s-gu.turbopages.org/u-b-s.ru/s/publikacii/processy-smk.html> (дата обращения: 17.03.2023).

8 ГОСТ Р 56406-2021. Бережливое производство. Аудит. Вопросы для оценки системы менеджмента.

9 Акбарова С.А. Постановка целей по методике smart и как она влияет на мотивацию сотрудников // Colloquium-journal. – 2019. – № 2-4 (26). – С. 34-36.

Малафеевский Тимур Александрович – специалист, АО «Российский институт радионавигации и времени», Санкт-Петербург.

Область научных интересов: менеджмент качества и бережливого производства, устойчивое развитие социально-экономических систем, развитие и сертификация систем менеджмента, стандартизация, оценка и динамика экономического развития субъектов РФ.

Email: don.malafeewsky2012@ya.ru

Курчанов Игорь Александрович – кандидат технических наук, начальник отдела, АО «Российский институт радионавигации и времени», Санкт-Петербург.

Область научных интересов: исследования в области помехоустойчивости и электромагнитной совместимости разрабатываемых изделий, исследование восприимчивости при испытаниях изделий на климатические, механические и вакуумные воздействия, вопросы предсказательного обслуживания испытательного оборудования на основе цифровых двойников.

Email: ikurchanov@yandex.ru

Дудорова Нина Александровна – заместитель начальника департамента, АО «Российский институт радионавигации и времени», Санкт-Петербург.

Область научных интересов: стандартизация и управление качеством, надежность технических систем, управление рисками, операционная эффективность наукоемкого производства, влияние организационной структуры и системы управления на показатели предприятия, проектное управление.

Email: Dudorova_NA@irt.ru

Почтовый адрес: 192012, Санкт-Петербург, проспект Обуховской Обороны, дом 120, лит. ЕЦ.

LPMS IMPLEMENTATION FEATURES IN THE HIGH-TECH SMALL-SCALE PRODUCTION CONDITIONS AT THE DEFENSE INDUSTRY ENTERPRISE

The article discusses the lean production management system implementation, development and certification practice and problems at enterprises whose sphere of activity includes the design and production of small-scale and (or) unique civilian, military or dual-use products and having a functioning quality management system (QMS). The paper shows that senior management leadership and process approach are the basis of LPMS deployment at such enterprises. The process of LPMS creation and maintenance is shown in the form of an IDEF-0 model. The main tasks as well as difficulties and opportunities arising in the preparation of LPMS for certification are indicated. An attempt to determine the priority areas of the scientific production enterprise LPMS development on the basis of available information is made. Considerations regarding the LPMS development are set out taking into account the uniqueness and small volumes of output.

Keywords: lean production, lean production management system, process approach, management system certification, audit, value creation stream, consumer requirement, production conditions, organization standard, integrated management system.

Malafeevskii Timur Aleksandrovich – specialist, JSC "Russian Institute of Radio Navigation and Time", St. Petersburg.

Research interests: quality and lean management, socio-economic systems sustainable development, management systems development and certification, standardization, Economic development assessment and dynamics of Russian Federation subjects.

Kurchanov Igor Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences, Head of Department, JSC "Russian Institute of Radio Navigation and Time", St. Petersburg.

Research interests: research in the field of noise immunity and electromagnetic compatibility of developed products, research of susceptibility during testing of products for climatic, mechanical and vacuum effects, issues of predictive maintenance of test equipment based on digital twins.

Dudorova Nina Aleksandrovna vice department head, JSC "Russian Institute of Radio Navigation and Time", St. Petersburg.

Research interests: standardization and quality management, technical systems reliability, risk management, knowledge-intensive enterprise operational efficiency, the organizational structure and management system impact on the company's performance, project management.

УДК 65.012.21

ОНТОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД В РАЗРАБОТКЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ДЛЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

Жубр А.М.

Рассматривается онтологический подход для решения прикладных задач управления производством. Описана методика применения онтологического подхода, как эффективного способа представления концептуальных знаний предметной области, в разработке цифровых двойников крупного предприятия оборонно-промышленного комплекса в задачах планирования производства.

Ключевые слова: организация производства, планирование производства, производственная программа, Web Ontology Language, SparQL.

Введение

Анализ отечественного рынка информационных технологий показывает, что на текущий момент существует очень малое количество цифровых двойников (ЦД) и программных продуктов, предлагающих автоматизировать полный жизненный цикл крупного предприятия. Архитектура существующих информационных систем предполагает определенную структуру и порядок взаимодействия структурных подразделений, который может существенно отличаться от внедренных бизнес-процессов на отдельном предприятии. На практике на крупных промышленных предприятиях в большинстве случаев внедрено несколько информационных систем и инструментов, которые используются структурными подразделениями для учёта и управления производством. В этих условиях одной из главных проблем является задача организация взаимодействия и обмена данными между информационными системами. Эта задача не является тривиальной, так как она подразумевает не только передачу, но и унификацию данных.

Одной из типовых задач организации производства, в рамках которой необходимо обрабатывать данные из нескольких разрозненных источников, является задача планирования производства – формирование производственной программы. Основная задача производственной программы – минимизация простоя производственного оборудования и извлечение максимальной прибыли из имеющихся мощностей предприятия.

Большая часть предприятий планирует производство один раз в месяц, в силу большой сложности и трудоёмкости унификации и обработки данных структурных подразделений. Налицо несовершенство такого подхода, так как в этом случае моделируется идеальная картина работы всех производственных мощностей и ресурсов, не учитывающая реальное положение дел на производстве: поломку оборудования, задержки сроков поставки материалов и полуфабрикатов и т.д. Чем больше предприятие, тем существеннее сказывается негативный эффект расхождения производственной программы с реальной картиной, поэтому существенно возрастает потребность в

ежедневном планировании для снижения рисков несоблюдения сроков планового изготовления, а также более точного прогнозирования оптимальной загрузки производственных цехов на предприятия. Цифровизация и автоматизация планирования производства является очень важной и актуальной задачей, которая на практике должна учитывать специфику и особенности отдельного предприятия.

Если рассмотреть жизненный цикл производства крупного предприятия оборонно-промышленного комплекса на примере АО «Обуховский завод» (рисунок 2), можно обратить внимание, что при планировании производства требуется учитывать данные, полученные в результате работы нескольких структурных подразделений, учет и организация работы которых ведется в разных информационных системах.

На схеме отображено, что сотрудники конструкторского бюро и отдела главного технолога используют специализированные редакторы для разработки конструкторской документации и описания технологических процессов, сотрудники финансово-экономического департамента, отдела маркетинга и отдела закупок используют отдельную информационную систему для работы с первичными документами, а сотрудники бухгалтерии ведут учёт в системе 1С. В этих условиях управление предприятием требует решения задачи консолидации и унификации данных при разработке ЦД автоматизации задач балансировки (ежедневного пересчёта) производственной программы для перехода от стратегического долгосрочного планирования к оперативному, реагирующему на любые изменения ситуации.

Существует несколько подходов консолидации и унификации данных, одним из таких является использование технологий семантического веба и структурирование знаний предметной области в виде онтологий с помощью языка Web Ontology Language (OWL).

1 Язык представления онтологий

В основе онтологического представления знаний лежит Resource Description Framework (RDF) – это разработанная консорциумом W3C модель для представления данных. RDF является частью концепции семантической паутины. RDF представляет утверждения об объектах в виде, пригодном для машинной обработки [1].

Множество RDF-утверждений образует ориентированный граф, в котором вершинами являются субъекты и объекты, а рёбра отображают отношения. RDF-граф – это направленный граф, который состоит из множества троек (Субъект – Предикат – Объект). RDF-тройки принято называть RDF-триплетами (рисунок 1). Для определения субъектов, объектов и их отношений в RDF используются уникальные URI.



Рисунок 1 – RDF-триплет или RDF-тройка

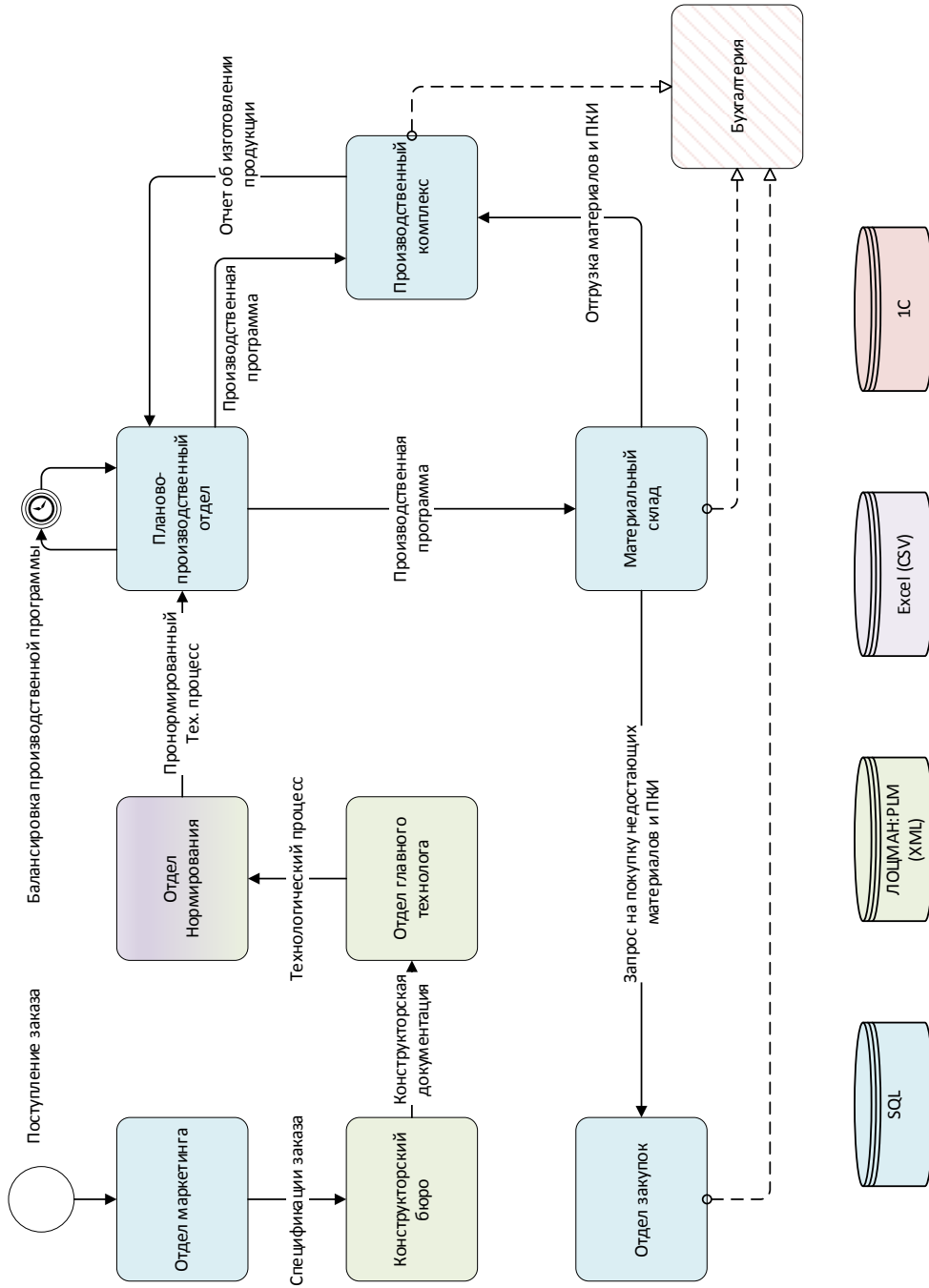


Рисунок 2 – Схема взаимодействия структурных подразделений предприятия в жизненном цикле производственного заказа

RDFS Schema – набор классов и свойств для представления знаний RDF, составляющий основу для описания онтологий с использованием расширенного RDF-словаря для структуры RDF-графов [2].

Основными классами RDFS являются:

- rdfs:Resource – корневой класс,
- rdfs:Class – класс, который присваивается ресурсу-классу,
- rdfs:Literal – класс литералов,
- rdfs:Datatype – класс типов данных,
- rdf:XMLLiteral – класс XML-литералов (строки и целые числа),
- rdf:Property – класс свойств.

Свойства описывают отношения между ресурсами-субъектами и ресурсами-объектами и являются экземплярами класса rdf:Property. Основными свойствами, которые используются для составления триплетов, являются:

- rdf:type – свойство, которое декларирует принадлежность ресурса некоторому классу,
- rdfs:subClassOf – свойство, определяющее иерархию классов,
- rdfs:domain – объявляет класс субъекта,
- rdfs:range – объявляет класс или тип данных объекта.

RDF сам по себе является не форматом файла, а только лишь абстрактной моделью данных. RDF модель описывает структуру, способы обработки и интерпретации данных.

Для извлечения данных из RDF-графов используется язык запросов SparQL [3].

Для хранения и передачи информации RDF существует целый ряд форматов записи, одним из самых широко используемых является OWL.

Web Ontology Language (OWL) – язык для представления онтологий и связанной информации в виде семантической сети. OWL был создан консорциумом W3C в 2004 году как открытый стандарт. OWL дополняет схему описания ресурсов Resource Description Framework Schema (RDFS) онтологическими конструкциями для описания объектно-ориентированных классов и свойств [4].

В конечном итоге онтология – ориентированный граф, в котором описана иерархическая структура классов и индивидуумов предметной области – вершин графа, связь и отношения между которыми описывается с помощью объектных и примитивных (качественных) свойств – рёбер графа.

2 Применение онтологического подхода при решении прикладных задач

Идея онтологического подхода заключается в использовании онтологий в качестве промежуточного звена для взаимодействия и обмена данными между информационными системами на базе единого описания и концептуализации знаний предметной области.

Если рассмотреть задачу планирования производства, то в общем виде её можно описать как построение оптимального плана работы предприятия. План работы предприятия в свою очередь строится исходя из запущенных в производство заказов, каждый из которых характеризуется перечнем изделий, которые необходимо изготовить. Изготовление каждого изделия определяется технологическим процессом и подразумевает последовательное выполнения технологических операций, которые

осуществляются на рабочем центре (станке) с привлечением человеческих и материальных ресурсов. Структура классов онтологии в этом случае может иметь следующий вид:

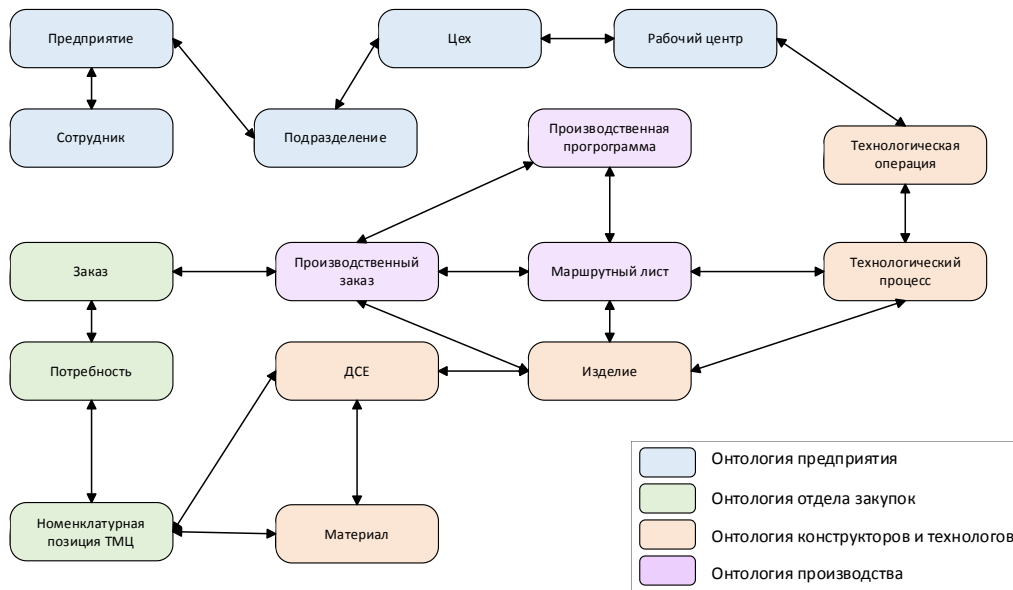


Рисунок 3 – Структура онтологии планирования производства

Построение онтологии при такой структуре подразумевает, что специалисты подразделений предприятия могут разрабатывать онтологии отдельных прикладных областей, которые впоследствии могут быть интегрированы в одну единую базовую онтологию планирования производства, решающую задачу объединения данных в единую семантическую сеть, тем самым нивелирующую проблему различия нормативных справочников информации и структур баз данных.

Архитектура такой системы будет выглядеть следующим образом (рисунок 4). Для каждого источника данных, программного модуля ЦД предприятия, определяется фрагмент базовой онтологии, которая его описывает, и на техническом уровне реализуется SparQL-endpoint, шлюз для передачи данных в виде запросов SparQL. Это позволит настроить взаимодействие программных сервисов, и извлекать из источников консолидированные данные в режиме реального времени.

Для реализации данной архитектуры существует множество инструментов для интерпретации данных в виде RDF-графов, их последующее извлечение и обработку из SQL-баз данных, CSV и Excel таблиц, XML-файлов и т.д. [5].

Таким образом, методика применения онтологического подхода для разработки ЦД для решения задач планирования производства будет включать в себя:

- системный анализ выбранной методики управления производственными ресурсами, которые должны быть использованы для решения целевой задачи;
- разработка базовой онтологии предметной области для целевого предприятия, которая учитывает специфику бизнес-процессов и регламентов;
- модификация источники данных, сопоставление структуры базы данных с объектами онтологии;

- разработка комплекса программно-инструментальных средств автоматизации процесса обмена данными в виде SparQL-запросов;
- апробация разработанных компонентов ЦД управления производством.

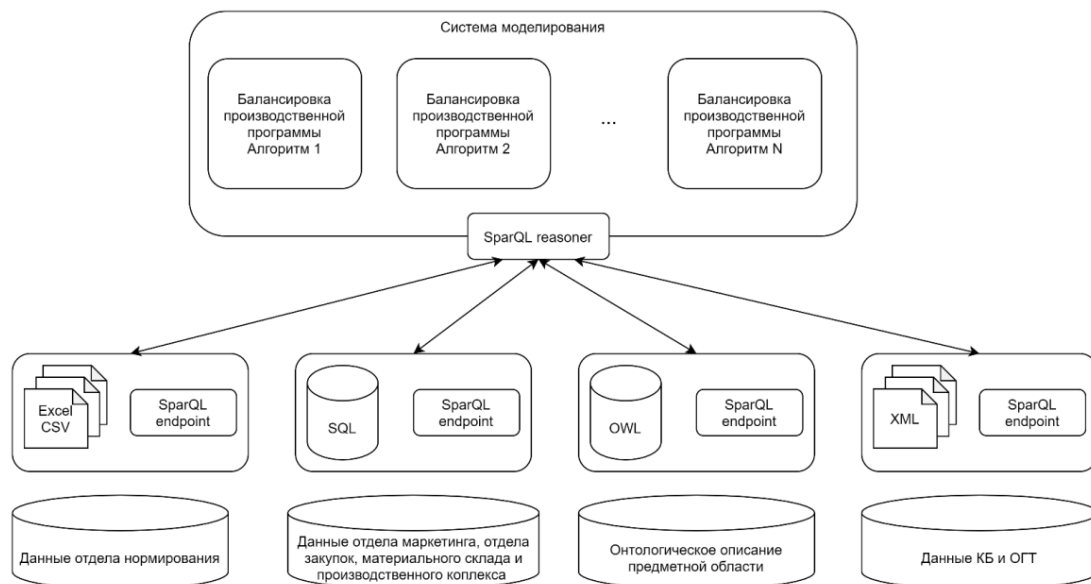


Рисунок 4 – Архитектура ЦД для планирования и балансировки производственной программы

Заключение

Не смотря тот факт, что спецификация языка представления онтологий OWL разработана более десяти лет назад, применение онтологического подхода в разработке информационных систем не носит массовый характер. Тем не менее, в последние время значительно увеличивается количество исследований в этой области. Предлагаются новые методики и теоретические модели для использования онтологического подхода для построения ЦД, систем поддержки принятия решений и систем моделирования, в том числе и многоагентного [6], на базе генетических алгоритмов [7] и моделей эвристического поиска [8].

Одним из главных преимуществ онтологического подхода является легкая масштабируемость онтологии, её расширение (добавление новых классов и свойств), которое не влечёт за собой нарушения в работе существующих механизмов обработки данных. Структура знаний предметной области при таком подходе может дорабатываться и усовершенствоваться специалистами разных структурных подразделений в режиме реального времени и не требует переработки архитектуры ЦД.

Онтологии не являются безальтернативным методом представления и структурирования концептуальных знаний, но могут быть эффективно использованы, как универсальный способ консолидации и унификации данных при разработке информационных систем и ЦД для решения прикладных задач планирования производства и балансировки производственной программы.

Литература

1 Resource Description Framework. [Электронный ресурс] – URL: <https://www.w3.org/TR/rdf-concepts> (дата обращения: 01.04.2023).

2 RDF Schema. [Электронный ресурс] – URL <http://www.w3.org/TR/rdf-schema> (дата обращения: 01.04.2023).

3 SparQL. [Электронный ресурс] – URL <https://www.w3.org/TR/rdf-sparql-query> (дата обращения: 01.04.2023).

4 Web Ontology Language. [Электронный ресурс] – URL <https://www.w3.org/TR/owl-semantic> (дата обращения: 01.04.2023).

5 An inventory of tools for converting data to RDF. [Электронный ресурс] – URL <https://faircookbook.elixir-europe.org> (дата обращения: 01.04.2023).

6 Zhilyaev A. Ontology-based open multi-agent systems for adaptive resource management / P. Skobelev, A. Zhilyaev, V. Larukhin, S. Grachev, E. Simonova // Proceedings of the 12th International Conference on Agents and Artificial Intelligence. – 2020. – P. 127-135.

7 Jin-Sung Park, Huey-Yuen Ng, Tay-Jin Chua, Yen-Ting Ng and Jun-Woo Kim. Unified Genetic Algorithm Approach for Solving Flexible Job-Shop Scheduling Problem // Reprinted from: Appl. Sci. – 2021.

8 Lenin Nagarajan, Siva Kumar Mahalingam, Sachin Salunkhe, Emad Abouel Nasr, Гоао Paulo Davim and Hussein M. A. Hussein. A Novel Methodology for Simultaneous Minimization of Manufacturing Objectives in Tolerance Allocation of Complex Assembly // Reprinted from: Appl. Sci. – 2021.

Жубр Антон Максимович – системный аналитик, АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: разработка и совершенствование методов и моделей организации производства, онтологическое представление знаний.

E-mail: amzhubr@yandex.ru

Почтовый адрес: 192012, Санкт-Петербург, проспект Обуховской обороны, дом 120, лит. ЕЦ.

AN ONTOLOGICAL APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF DIGITAL TWINS FOR PRODUCTION MANAGEMENT TASKS

The ontological approach for solving applied problems of production management is considered. The method of using the ontological approach as an effective way of presenting conceptual knowledge of the subject area in the development of digital twins of a large enterprise of the military-industrial complex in production planning tasks is described.

Keywords: production management, production planning, manufacturing program, Web Ontology Language, SparQL.

Zhubr Anton Maksimovich – System analyst, JSC "Obukovsky Plant", St. Petersburg.

Research interests: development and improvement of methods and models of organization, ontological representation of knowledge.

УДК 621.396.67

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ОБЛУЧАТЕЛЯ В СИСТЕМЕ КООРДИНАТ АНТЕННОГО ПОЛОТНА ПРИ КАЛИБРОВКЕ ПРОХОДНОЙ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

Жизневский А.К., Калашников В.С.

Сформулированы основные положения расчетно-экспериментального метода калибровки радиотехнических параметров проходной фазированной антенной решетки (ФАР). Перечислены задачи, которые необходимо решить для практической реализации этого метода. Приведено решение задачи определения положения плоскости раскрыва облучателя в системе координат подставки для промежуточных этапов калибровки ФАР. Дано описание алгоритма решения задачи определения положения плоскости раскрыва облучателя в системе координат антенного полотна ФАР.

Ключевые слова: фазированная антенная решетка; плоскость раскрыва; облучатель; система координат.

Введение

Калибровка радиотехнических параметров проходной фазированной антенной решетки (ФАР), схематическое изображение которой приведено на рисунке 1 [1, 2], заключается в выборе такого положения облучателя ФАР относительно антенного полотна, при котором все контролируемые радиотехнические параметры оказываются в заданных пределах. В общем случае облучатель имеет несколько степеней свободы, поэтому определение его положения является итерационным процессом. Контроль параметров ФАР необходимо проводить для каждого промежуточного положения облучателя. Калибровка завершает производственную стадию жизненного цикла ФАР и является необходимым процессом для сдачи изделия в эксплуатацию.

В принятых в настоящее время методах калибровки контроль параметров ФАР для промежуточных положений облучателя осуществляется экспериментальным путем с использованием стенда ближнего поля с плоской поверхностью сканирования. Измерение радиотехнических параметров антенн на стендах ближнего поля является косвенным методом измерения – экспериментальным путем определяется амплитудно-фазовое распределение (АФР) комплексной амплитуды вектора напряженности электрического поля на поверхности сканирования – плоскости, расположенной вблизи антенны параллельно ее излучающей поверхности, а затем по массивам экспериментальных данных рассчитываются радиотехнические параметры антенны [3]. Этот вариант калибровки имеет низкую оперативность.

Уменьшение времени калибровки ФАР может быть достигнуто путем автоматизации процесса калибровки за счет замены части промежуточных измерений расчетами. В работе [4] предложено использовать для калибровки проходной ФАР экспериментально-расчетный метод, в котором экспериментальное определение АФР поля на

поверхности сканирования выполняется только один раз – для исходного положения облучателя. Определение АФР электрического поля на поверхности сканирования для промежуточных положений облучателя предлагается выполнять расчетным путем с помощью специального математического обеспечения. В качестве исходных данных для этих расчетов используется измеренное амплитудно-фазовое распределение.

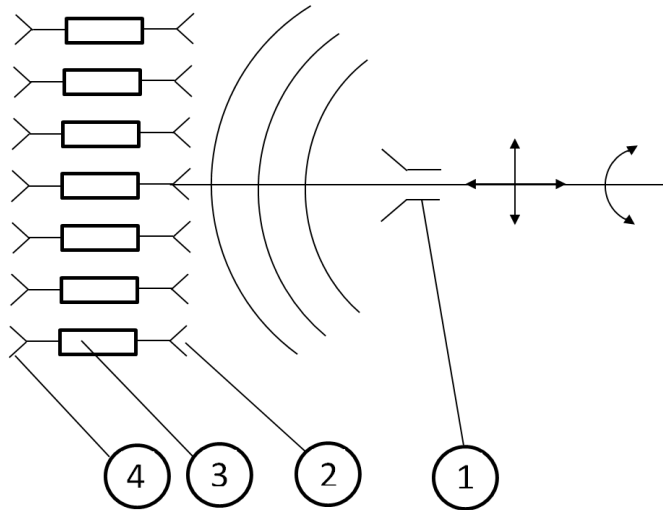


Рисунок 1 – Проходная ФАР при работе на передачу:

1 – облучатель; 2 – приемная антенна; 3 – перестраиваемый фазовращатель;
4 – передающая антенна; 2-4 составляют антенный элемент, все антенные элементы образуют «антенное полотно»

Для практической реализации данного метода необходимо решить несколько теоретических задач, основными из которых являются:

- разработка метода и ПО для пересчета амплитудно-фазового распределения комплексной амплитуды вектора напряженности электрического поля с исходной плоскости на плоскость, повернутую относительно исходной на заданный угол (решение этой задачи приведено в работе [4], а экспериментальная проверка правильности разработанного метода пересчета – в работе [5]);

- разработка метода и ПО для определения положения плоскости раскрыва облучателя относительно плоскости антенного полотна на всех промежуточных этапах калибровки.

Целью настоящей работы является решение задачи определения положения плоскости раскрыва облучателя (в заданной системе координат) на промежуточных этапах калибровки радиотехнических параметров проходной ФАР, применительно к конкретной конструкции устройства для настройки положения облучателя.

1 Основные элементы конструкции устройства для настройки положения облучателя

Конструкция устройства для настройки положения облучателя, которое в дальнейшем мы будем называть «подставка», изображена на рисунке 2 и рисунке 3.

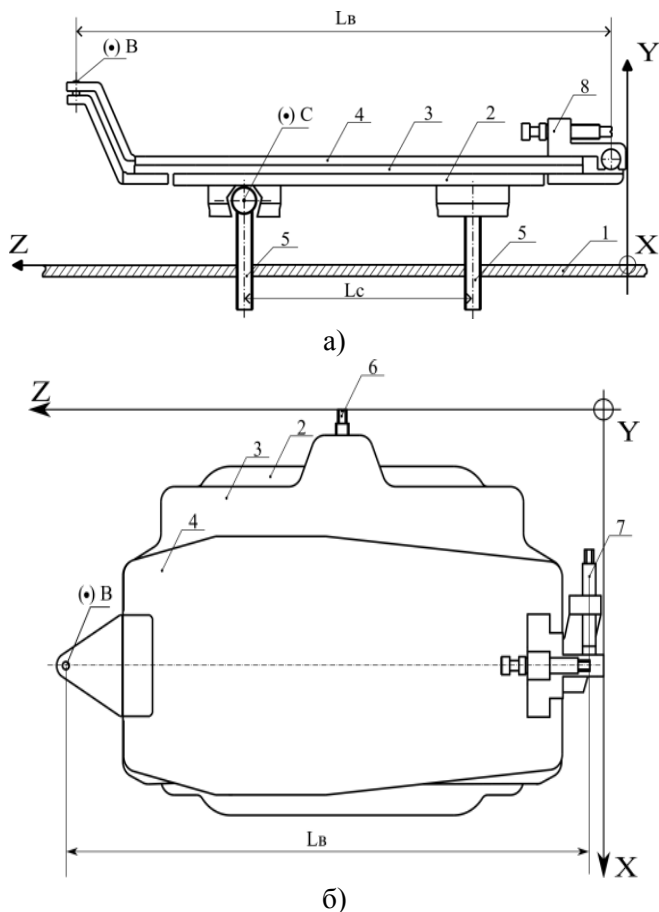


Рисунок 2 – Подставка

Основными элементами подставки являются:

- основание 1 (неподвижное);
- плита 2, которая крепится к основанию 1 с помощью четырех болтов 5;
- четыре болта со сферическими головками (5), подвижно закрепленными в плите 2, ввинченные в резьбовые отверстия неподвижного основания 1, которые обеспечивают следующие изменения положений плиты 2 (линейное перемещение плиты 2 в направлении, перпендикулярном основанию 1 (при одинаковом числе оборотов каждого из четырех болтов 5), а повороты плиты 2 на угол $\pm \xi$ в вертикальной плоскости при неподвижном положении двух болтов 5, ближайших к оси поворота, и перемещении на одинаковое расстояние двух других болтов 5);
- пластина 3, размещенная на плите 2, которая имеет возможности линейно перемещаться (скользить) по плите 2;
- пара «неподвижный болт – подвижная гайка» 6, обеспечивающая линейное перемещение пластины 3;
- пластина 4, размещенная на пластине 3, которая имеет возможность поворачиваться на угол $\pm \psi$, скользя по пластине 3;
- пара «подвижный болт – неподвижная гайка» 7, обеспечивающая повороты пластины 4 на угол $\pm \psi$ в наклонной плоскости (длина рычага поворота равна L_B);

- каркас 10 рупорного приемного облучателя 9, размещенный на пластине 4, который может линейно перемещаться (скользить) по пластине 4;
- пара «подвижный болт – неподвижная гайка» 8, обеспечивающая линейное перемещение каркаса (9) с приемным облучателем (10) в направлении нормали к раскрыву облучателя.

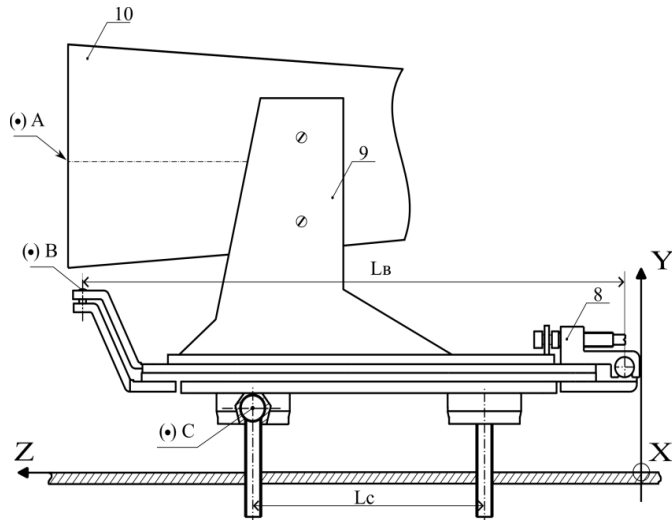


Рисунок 3 – Подставка с каркасом и облучателем

Подставка обеспечивает возможность совершать различные контролируемые перемещения облучателя в трехмерном пространстве, целью которых является настройка радиотехнических параметров проходной ФАР.

Все изменения положения раскрыва облучателя в процессе настройки обеспечиваются линейными перемещениями болтов 5, линейными перемещениями подвижной гайки в паре «болт-гайка» 6 и линейными перемещениями подвижных болтов в парах «болт-гайка» 7 и 8. Назовем эти устройства «исполнительными механизмами» перемещений облучателя. Начальное положение подвижных элементов пар «болт-гайка» определяется при установке подставки в исходное положение.

2 Система координат подставки и положение поверхности раскрыва облучателя в этой системе

В качестве опорной неподвижной системы координат подставки выберем декартову систему координат XYZ , размещенную относительно подставки следующим образом:

- координатная поверхность XOZ совпадает с верхней поверхностью основания 1;
- координатная поверхность YOZ касается торца неподвижного болта пары «болт-гайка» 6;
- координатная поверхность XOY касается кожуха крепления головки – подвижного болта пары «болт – гайка» 7;
- начало координат находится на верхней поверхности неподвижного основания 1.

Положение плоскости в декартовой системе координат может быть однозначно определено, если заданы координаты точки на этой плоскости (x_1, y_1, z_1) и направляющие косинусы единичной нормали к ней (l, m, n) [6].

Линейное уравнение такой плоскости имеет вид

$$xl + ym + zn - (x_1l + y_1m + z_1n) = 0.$$

В векторной форме это уравнение может быть записано в виде

$$(\mathbf{r} - \mathbf{r}_1)\mathbf{N} = 0,$$

где $\mathbf{r} = x \mathbf{e}_x + y \mathbf{e}_y + z \mathbf{e}_z$ – радиус-вектор текущей точки на плоскости,

$\mathbf{r}_1 = x_1 \mathbf{e}_x + y_1 \mathbf{e}_y + z_1 \mathbf{e}_z$ – радиус-вектор заданной точки,

$\mathbf{N} = l \mathbf{e}_x + m \mathbf{e}_y + n \mathbf{e}_z$ – единичная нормаль к плоскости.

В настоящей работе будем использовать именно этот подход для определения положения плоскости раскрыва облучателя в системе координат XYZ .

В качестве точки на плоской поверхности раскрыва облучателя возьмем геометрический центр прямоугольного раскрыва центрального рупора (точка A на рисунке 3).

Единичную нормаль к плоскости раскрыва (\mathbf{N}) направим во внешнюю, по отношению к рупору, область пространства.

3 Порядок калибровки

В исходном положении плата 2, пластина 3 и пластина 4 должны быть расположены параллельно координатной поверхности XOZ , ось симметрии пластины 4 должна быть параллельна координатной оси OZ , а плоскость раскрыва облучателя должна быть параллельна координатной поверхности XOY .

В процессе настройки положение раскрыва облучателя в пространстве изменяется. Назовем каждое промежуточное положение облучателя «трансформацией» и определим следующие пять трансформаций, с помощью которых осуществляется настройка радиотехнических параметров проходной ФАР:

- параллельное перемещение облучателя «вверх-вниз» в вертикальной плоскости;
- параллельное перемещение облучателя «влево-вправо» в наклонной плоскости;
- повороты облучателя в наклонной плоскости на угол $\pm \psi$;
- повороты облучателя в вертикальной плоскости на угол $\pm \xi$;
- продольное перемещение облучателя в направлении нормали к плоскости его раскрыва.

4 Формулировка задач исследования

С учетом способа задания положения плоскости раскрыва облучателя в системе координат подставки, задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели, можно сформулировать следующим образом:

- для каждой трансформации облучателя вывести формулы, определяющие зависимость координат центра его раскрыва и направляющих косинусов единичной

нормали к раскрыву от перемещений исполнительного механизма, осуществляющего эту трансформацию (в системе координат подставки);

- привязать координаты точки и направляющие косинусы нормали, полученные в системе координат подставки, к системе координат, в которой определено положение антенного полотна ФАР и поверхности сканирования.

5 Решение первой задачи

Введем следующие определения и обозначения:

x_{ji}, y_{ji}, z_{ji} – декартовы координаты точки в системе $OXYZ$,

где $j = a, b, c, \dots$ – обозначение точки;

$i = 0, 1, 2 \dots 5$ – номер трансформации, при которой определяются координаты точки ($i = 0$ соответствует начальному положению точки).

$d_k = (\text{sign } d_k) \cdot |d_k| = \pm |d_k|$ – величина смещения подвижного элемента, входящего в пару «болт-гайка», относительно исходного положения,

где $k = 5(4), 6, 7, 5(2), 8$ – обозначение пары «болт – гайка» (рисунки 2 и 3);

$(\text{sign } d_k)$ – знак величины d_k [(+) при вращении болта пары «болт – гайка» по часовой стрелке и (-) при вращении болта пары «болт – гайка» против часовой стрелки];

$$|d_k| = q_k \cdot h_k,$$

где q_k – число оборотов болта, входящего в k -ую пару «болт – гайка», произведенных в процессе настройки;

h_k – шаг резьбы болта, входящего в k -ую пару «болт – гайка».

$\psi = (\text{sign } \psi) \cdot |\psi| = \pm |\psi|$ – угол поворота облучателя в наклонной плоскости,

ψ – угол поворота с учетом знака;

$(\text{sign } \psi)$ – знак величины ψ , совпадающий со знаком смещения подвижного элемента пары «болт-гайка» (d_7), обеспечивающего этот поворот;

$|\psi|$ – абсолютная величина угла поворота.

$\xi = (\text{sign } \xi) \cdot |\xi| = \pm |\xi|$ – угол поворота облучателя в вертикальной плоскости,

где ξ – угол поворота с учетом знака;

$(\text{sign } \xi)$ – знак величины ξ , совпадающий со знаком смещения двух болтов 5 ($d_{5(2)}$), обеспечивающих этот поворот;

$|\xi|$ – абсолютная величина угла поворота.

$(\cdot)A$ – центр раскрыва облучателя (рисунки 3 и 4).

$A_i(x_{ai}, y_{ai}, z_{ai})$ – координаты центра раскрыва облучателя после i -ой трансформации ($A_0(x_{a0}, y_{a0}, z_{a0})$ – координаты $(\cdot)A$ в исходном положении).

$(\cdot)B$ – точка, через которую проходит ось поворотов пластины 4 в наклонной плоскости (рисунок 2 и рисунок 3).

$B_i(x_{bi}, y_{bi}, z_{bi})$ – координаты точки B после i -ой трансформации ($B_0(x_{b0}, y_{b0}, z_{b0})$ – координаты $(\cdot)B$ в исходном положении).

$(\cdot)C$ – точка, являющаяся центром симметрии сферической головки болта 5, через которую проходит ось поворотов платы 2 в вертикальной плоскости, параллельная координатной оси OX (рисунок 2 и рисунок 3).

$C_i(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$ – координаты точки C после i -ой трансформации ($C_0(x_{c0}, y_{c0}, z_{c0})$ – координаты $(\cdot)C$ в исходном положении).

L_B – длина рычага при повороте пластины 4 в наклонной плоскости на угол ψ (рисунок 2 и рисунок 3).

L_C – длина рычага при повороте платы 2 в вертикальной плоскости на угол ξ (рисунок 2 и рисунок 3).

R_{ba} – радиус дуги, по которой движется центр раскрыва облучателя при повороте на угол ψ .

R_{ca} – радиус дуги, по которой движется центр раскрыва облучателя при повороте на угол ξ (рисунок П3 и рисунок П4).

$\mathbf{N}_i = l_i \mathbf{e}_x + m_i \mathbf{e}_y + n_i \mathbf{e}_z$ – единичная нормаль к плоскости раскрыва облучателя после i -ой трансформации,

где $\mathbf{e}_x, \mathbf{e}_y, \mathbf{e}_z$ – координатные орты системы координат XYZ ,

l_i, m_i, n_i – направляющие косинусы единичной нормали.

5.1 Исходные данные для расчетов:

- координаты точек A_0, B_0 и C_0 в исходном положении:

$$(x_{a0}, y_{a0}, z_{a0}), (x_{b0}, y_{b0}, z_{b0}), (x_{c0}, y_{c0}, z_{c0}).$$

- размер рычагов поворота в наклонной плоскости (L_B) и в вертикальной плоскости (L_C) (рисунок 2 и рисунок 3).

- шаг резьбы болтов в парах «болт – гайка»:

$$h_5, h_6, h_7, h_8.$$

- направляющие косинусы единичной нормали (\mathbf{N}_0) в исходном положении:

$$l_0 = 0, m_0 = 0, n_0 = 1.$$

5.2 Изменения координат центра раскрыва и положения нормали к раскрыву в процессе трансформаций

ПЕРВАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ – перемещение плиты 2 в направлении перпендикулярном основанию подставки на расстояние $d_{5(4)}$ вместе с пластиной 3, пластиной 4, каркасом 9 и облучателем 10 (совмещение минимума разностной ДН в вертикальной плоскости ($\Delta\varphi_b$) с пеленгационным направлением).

Данные, получаемые в результате выполнения трансформации:

- направление вращения четырех болтов 5 (по часовой стрелке, против часовой стрелки);

- количество оборотов каждого из болтов 5 - q_1 .

Рассчитываемые величины:

- величина и направление смещение болтов 5 относительно их исходного положения

$$d_{5(4)} = (\text{sign } d_{5(4)}) \cdot |d_{5(4)}|,$$

где $\text{sign } d_{5(4)}$ – знак величины $d_{5(4)}$ [(+) при вращении болтов 5 по часовой стрелке или (-) при вращении болтов 5 против часовой стрелки],

$$|d_{5(4)}| = q_1 \cdot h_5 - \text{модуль величины } d_{5(4)};$$

- координаты точек A_1, B_1 и C_1 (после первой трансформации):

$$\begin{aligned} x_{a1} &= x_{a0}, & y_{a1} &= y_{a0} + d_{5(4)}, & z_{a1} &= z_{a0}, \\ x_{b1} &= x_{b0}, & y_{b1} &= y_{b0} + d_{5(4)}, & z_{b1} &= z_{b0}, \\ x_{c1} &= x_{c0}, & y_{c1} &= y_{c0} + d_{5(4)}, & z_{c1} &= z_{c0}; \end{aligned}$$

- направляющие косинусы единичной нормали \mathbf{N}_1 :

$$l_1 = 0, \quad m_1 = 0, \quad n_1 = 1.$$

ВТОРАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ – перемещение пластины 3 в направлении параллельном основанию подставки на расстояние d_6 вместе с пластиной 4, каркасом 9 и облучателем 10 (совмещение минимума разностной ДН в наклонной плоскости ($\Delta\varphi_n$) с пеленгационным направлением)

Данные, получаемые в результате выполнения трансформации:

- направление вращения болта 6 (по часовой стрелке, против часовой стрелки);
- количество оборотов болта 6 - q_2 .

Рассчитываемые величины:

- величина и направление смещения подвижной гайки в паре «болт-гайка» 6 - d_6 (в этой паре, при вращении болта по часовой стрелке, гайка (вместе с пластиной 3) движется в отрицательном направлении оси OX , поэтому вращению болта 6 по часовой стрелке соответствует знак (-) величины d_6 , а вращению против часовой стрелки – знак (+)):

$$d_6 = (\text{sign } d_6) \cdot |d_6|,$$

где $\text{sign } d_6$ – знак величины d_6 [(-) при вращении болта 6 по часовой стрелке или (+) при вращении болта 6 против часовой стрелки];

$$|d_6| = q_2 \cdot h_6 - \text{модуль величины } d_6;$$

- координаты точек A_2, B_2 и C_2 (после второй трансформации):

$$\begin{aligned} x_{a2} &= x_{a1} + d_6, & y_{a2} &= y_{a1}, & z_{a2} &= z_{a1}, \\ x_{b2} &= x_{b1} + d_6, & y_{b2} &= y_{b1}, & z_{b2} &= z_{b1}, \\ x_{c2} &= x_{c1}, & y_{c2} &= y_{c1}, & z_{c2} &= z_{c1}; \end{aligned}$$

- направляющие косинусы единичной нормали \mathbf{N}_2 :

$$l_2 = 0, \quad m_2 = 0, \quad n_2 = 1.$$

ТРЕТЬЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ – повороты пластины 4 в наклонной плоскости на угол ψ вместе с каркасом 9 и облучателем 10 («подстройка» минимума $\Delta\varphi_n$)

Данные, получаемые в результате выполнения трансформации:

- направление вращения болта 7 (по часовой стрелке, против часовой стрелки);
- количество оборотов болта 7 - q_3 .

Рассчитываемые величины:

- величина и направление смещение болта 7 относительно его положение перед началом третьей трансформации

$$d_7 = (\text{sign } d_7) \cdot |d_7|,$$

где $\text{sign } d_7$ – знак величины d_7 [(+) при вращении болта 7 по часовой стрелке или (-) при вращении болта 7 против часовой стрелки];

$$|d_7| = q_7 \cdot h_7 \text{ – модуль величины } d_7;$$

- угол поворота пластины 4 в наклонной плоскости ψ (знак и модуль):

$$\psi = (\text{sign } d_7) \cdot \arctg(|d_7| / L_B);$$

- радиус дуги $R_{ba} = \sqrt{(x_{b2} - x_{a2})^2 + (z_{b2} - z_{a2})^2}$;

- вспомогательный угол α (всегда положительный):

$$\alpha = \arctg|(x_{a2} - x_{b2}) / (z_{a2} - z_{b2})|;$$

- координаты точки A_3 (после третьей трансформации):

$$x_{a3} \neq x_{a2}, \quad (*) \quad y_{a3} = y_{a2}, \quad z_{a3} \neq z_{a2} \cdot (*)$$

(*) формулы для расчета x_{a3} и z_{a3} приведены в таблице 1;

- координаты точек B_3 и C_3 после третьей трансформации:

$$x_{b3} = x_{b2}, \quad y_{b3} = y_{b2}, \quad z_{b3} = z_{b2};$$

$$x_{c3} = x_{c2}, \quad y_{c3} = y_{c2}, \quad z_{c3} = z_{c2};$$

- направляющие косинусы единичной нормали \mathbf{N}_3

$$l_3 = -\sin \psi, \quad m_3 = 0, \quad n_3 = \cos \psi.$$

Т а б л и ц а 1 – Координаты точки $A_3(x_{a3}, y_{a3}, z_{a3})$ после третьей трансформации

Взаимное положение точек А и В после второй трансформации	x_{a3}	y_{a3}	z_{a3}
$x_{a2} \leq x_{b2}$ $y_{a2} = y_{a1}$ (1) $z_{a2} \geq z_{b2}$	$x_{a3} = x_{b2} - R_{ba} \cdot \sin(\alpha + \psi)$	$y_{a3} = y_{a2}$	$z_{a3} = z_{b2} - R_{ba} \cdot \cos(\alpha + \psi)$
$x_{a2} > x_{b2}$ $y_{a2} = y_{a1}$ (2) $z_{a2} \geq z_{b2}$	$x_{a3} = x_{b2} - R_{ba} \cdot \sin(\alpha - \psi)$	$y_{a3} = y_{a2}$	$z_{a3} = z_{b2} + R_{ba} \cdot \cos(\alpha - \psi)$
$x_{a2} \leq x_{b2}$ $y_{a2} = y_{a1}$ (3) $z_{a2} < z_{b2}$	$x_{a3} = x_{b2} - R_{ba} \cdot \sin(\alpha - \psi)$	$y_{a3} = y_{a2}$	$z_{a3} = z_{b2} - R_{ba} \cdot \cos(\alpha - \psi)$
$x_{a2} > x_{b2}$ $y_{a2} = y_{a1}$ (4) $z_{a2} < z_{b2}$	$x_{a3} = x_{b2} + R_{ba} \cdot \sin(\alpha + \psi)$	$y_{a3} = y_{a2}$	$z_{a3} = z_{b2} - R_{ba} \cdot \cos(\alpha + \psi)$

(*) – вариант взаимного положения А и В после второй трансформации.

ЧЕТВЕРТАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ – повороты плиты 2 в вертикальной плоскости на угол ξ вместе с пластиной 3, пластиной 4, каркасом 9 и облучателем 10 («подстройка» минимума $\Delta\varphi_B$)

Данные, получаемые в результате выполнения трансформации:

- направление вращения двух болтов 5 (по часовой стрелке или против часовой стрелки);

- количество оборотов каждого из двух болтов 5 – q_4 .

Рассчитываемые величины:

- величина и направление смещение двух болтов 5 относительно их положение перед началом четвертой трансформации

$$d_{5(2)} = (\text{sign } d_{5(2)}) \cdot |d_{5(2)}|,$$

где $\text{sign } d_{5(2)}$ – знак величины $d_{5(2)}$ [(+) при вращении болтов 5 по часовой стрелке или (–) при вращении болтов 5 против часовой стрелки],

$$|d_{5(2)}| = q_4 \cdot h_5 \text{ – модуль величины } d_{5(2)};$$

- угол поворота плиты 2 в вертикальной плоскости ξ (знак и модуль):

$$\xi = (\text{sign } d_{5(2)}) \cdot \arctg(|d_{5(2)}| / L_C) \text{ (рисунок ПЗ, рисунок П4);}$$

- вспомогательный угол β (всегда положительный):

$$\beta = \arctg|(y_{c3} - y_{a3}) / (z_{c3} - z_{a3})| \text{ (рисунок ПЗ, рисунок П4);}$$

- радиус дуги $R_{ca} = \sqrt{(y_{c3} - y_{a3})^2 + (z_{c3} - z_{a3})^2}$ (рисунок ПЗ, рисунок П4);

- координаты точек A_4, B_4 и C_4 (после четвертой трансформации):

$$x_{a4} = x_{a3}, \quad y_{a4} = y_{c3} + R_{ca} \sin(\beta - \xi), \quad z_{a4} = z_{c3} + R_{ca} \cos(\beta - \xi);$$

$$x_{b4} = x_{a3}, \quad y_{b4} = y_{c3} + R_{ca} \sin(\beta - \xi), \quad z_{b4} = z_{c3} + R_{ca} \cos(\beta - \xi);$$

$$x_{c4} = x_{a3}, \quad y_{c4} = y_{c3} + R_{ca} \sin(\beta - \xi), \quad z_{c4} = z_{c3} + R_{ca} \cos(\beta - \xi);$$

- направляющие косинусы единичной нормали \mathbf{N}_4 :

$$l_4 = -\sin \psi, \quad m_4 = -\cos \psi \cdot \sin \xi, \quad n_4 = \cos \psi \cdot \cos \xi.$$

ПЯТАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ – перемещение каркаса 9 вместе с облучателем 10 в направлении единичной нормали \mathbf{N}_5 на расстояние d_8 («подстройка» КУ суммарной ДН (Σ) и проверка уровня боковых лепестков этой ДН)

Данные, получаемые в результате выполнения трансформации:

- направление вращения болта 8 (по часовой стрелке, против часовой стрелки);

- количество оборотов болта 8 – q_5 .

Рассчитываемые величины:

- величина и направление смещение болта 8 относительно его положение перед началом четвертой трансформации – d_8 :

$$d_8 = (\text{sign } d_8) \cdot |d_8|,$$

где $\text{sign } d_8$ – знак величины d_8 – [(+) при вращении болта 8 по часовой стрелке или (–) при вращении болта 8 против часовой стрелки],

$$|d_8| = q_5 \cdot h_8 \text{ – модуль величины } d_8;$$

- координаты точек A_5, B_5 и C_5 (после пятой трансформации):

$$\begin{aligned}x_{a5} &= x_{a4} + d_8 \cdot l_5, & y_{a5} &= y_{a4} + d_8 \cdot m_5, & z_{a5} &= z_{a4} + d_8 \cdot n_5; \\x_{b5} &= x_{b4}, & y_{b5} &= y_{b4}, & z_{b5} &= z_{b4}; \\x_{c5} &= x_{c4}, & y_{c5} &= y_{c4}, & z_{c5} &= z_{c4};\end{aligned}$$

- направляющие косинусы единичной нормали \mathbf{N}_5 :

$$l_5 = l_4 = -\sin \psi, \quad m_5 = m_4 = -\cos \psi \cdot \sin \xi, \quad n_5 = n_4 = \cos \psi \cdot \cos \xi.$$

Наличие формул, связывающих положение плоскости раскрыва облучателя с числом оборотов и направлением вращения подвижных элементов пар «винт – гайка», управляющих этим положением, позволяет решать две группы задач – прямые и обратные. Прямые задачи – определение положения плоскости раскрыва для заданного числа оборотов и направления вращения подвижного элемента управляющей пары «винт – гайка». Обратные задачи – определение числа оборотов и направления вращения подвижного элемента управляющей пары «винт – гайка» необходимых для достижения требуемого положения плоскости раскрыва облучателя.

6 Решение второй задачи

В настоящем разделе мы рассмотрим только порядок решения задачи определения взаимного расположения облучателя и антенного полотна в процессе калибровки ФАР.

Введем три декартовы системы координат (СК) (рисунок 4).

Глобальная система координат – прямоугольная система координат $X'Y'Z'$, жестко связанная с имитатором крыши транспортного контейнера (не меняет своего положения в процессе калибровки ФАР).

Система координат подставки – прямоугольная система координат XYZ , жестко связанная с подставкой (конструктивом, в котором закрепляются облучатель и приспособления для его поворотов и линейных перемещений). Положение системы координат подставки в глобальной системе координат однозначно определено в технической документации. Система координат подставки в процессе калибровки ФАР не меняет своего положения в глобальной системе координат. Положение плоскости раскрыва облучателя в СК подставки (а, следовательно, и в глобальной системе координат), изменяется при каждой трансформации.

Система координат антенного полотна ФАР – прямоугольная система координат $X''Y''Z''$, жестко связанная с антенным полотном ФАР. Положение СК антенного полотна в глобальной системе координат однозначно определено в технической документации. Система координат антенного полотна в процессе калибровки ФАР не меняет своего положения в глобальной системе координат.

Таким образом, положение систем координат подставки и антенного полотна относительно друг друга опосредованно определены. Т.е. в глобальной системе координат известно положение центра СК подставки и значения углов поворота осей этой СК относительно осей глобальной системы координат. Также, в глобальной системе координат известно положение центра СК антенного полотна и значения углов поворота осей этой СК относительно осей глобальной системы координат. Следовательно, точки и векторы, определенные в СК подставки могут быть пересчитаны в точки и векторы в СК антенного полотна. И наоборот, точки и векторы, определенные в СК антенного полотна могут быть пересчитаны в точки и векторы в СК подставки.

Заключение

Получены формулы, связывающие положение плоскости раскрыва облучателя в системе координат подставки с направлением вращения и числом оборотов пар «винт-гайка», управляющих положением облучателя (напомним, что в настоящей работе положение раскрыва определяется направляющими косинусами положительной нормали к раскрыву и координатами центра раскрыва).

Рассмотрен порядок определения положения плоскости раскрыва облучателя и антенного полотна ФАР в единой (глобальной) системе координат, что позволит решать задачи «пересчета» АФР с плоскости раскрыва облучателя на излучающую поверхность антенного полотна ФАР и расчета радиотехнических параметров ФАР.

Наличие вышеупомянутых данных открывает принципиальную возможность решения задач синтеза при калибровке проходной ФАР – т. е. получения расчетным путем данных о количестве и направлении оборотов пар «винт – гайка», управляющих положением облучателя, для получения требуемых значений радиотехнических параметров ФАР.

Литература

1 Антенны и устройств СВЧ (проектирование фазированных антенных решеток): Учебное пособие для вузов / Под ред. Д.И. Воскресенского. – М.: Радиотехника, 2012. – 747 с.

2 Элемент проходной фазированной антенной решетки: пат. Рос. Федерация; № 2461931; опубл. 20.09.2012, Бюл. № 26.

3 Kalashnikov V.S. et al. Near-Field Antenna Measurements. – Springer Singapore, 2021.

4 Жизневский А.К. Сравнительный анализ численных методов пересчета электрического поля на плоскость непараллельную исходной // Вестник Концерна ВКО «Алмаз-Антей». – 2022. – №1. – С. 25-32.

5 Жизневский А.К. Экспериментальная проверка модернизированного метода поворотной трансформации спектра плоских волн // Вестник Концерна ВКО «Алмаз-Антей». – 2022. – №4. – С. 25-29.

6 Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров / пер. англ. под ред. И.А. Арамановича. – М.: Наука, 1974. – 832 с.

Жизневский Александр Константинович – аспирант, АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: измерения параметров антенн в ближней зоне, настройка антенных решёток.

Email: noc.rnv@goz.ru

Калашников Вадим Серафимович – доктор технических наук, профессор, начальника отдела, АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: проектирование антенных систем; амплифазометрические методы измерения радиотехнических характеристик антенных систем.

Email: noc.rnv@goz.ru

Почтовый адрес: 192012, Санкт-Петербург, пр. Обуховской Обороны, дом 120.

DETERMINATION OF THE POSITION OF THE FEED IN THE SYSTEM OF COORDINATES OF THE ANTENNA FABRIC WHEN CALIBRATING A PASS-THROUGH PHASED ARRAY

The main provisions of the computational-experimental method for calibrating the radio engineering parameters of a phased antenna array (PAA) are formulated. The tasks that need to be solved for the practical implementation of this method are listed. A solution to the problem of determining the position of the irradiator aperture plane in the stand coordinate system for intermediate stages of PAR calibration is given. The description of the algorithm for solving the problem of determining the position of the irradiator opening plane in the coordinate system of the PAA antenna sheet is given.

Key words: phased antenna array; opening plane; irradiator; coordinate system.

Zhiznevsky Alexander Konstantinovich – post-graduate student, Obukhov Plant JSC, St. Petersburg.

Research interests: measurements of antenna parameters in the near field, tuning of antenna arrays.

Kalashnikov Vadim Serafimovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department, Obukhov Plant JSC, St. Petersburg.

Research interests: design of antenna systems; amplifazometrichesky methods of measurement of radiotechnical characteristics of antenna systems.

УДК 519.8

СТАТЬЯ Ч. ЛИНДБЛОМА «НАУКА О ТОМ, «КАК ВСЕ-ТАКИ ВЫКРУТИТЬСЯ» (ПОДХОД «ДЕТСКИХ ШАЖКОВ» В ПРИНЯТИИ РЕШЕНИЙ)» КАК ПРЕДПОСЫЛКА СОЗДАНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Баушев С.В., Сайбель А.Г.

Представлены результаты исследования исторических предпосылок формирования и развития современной теории оптимального управления и ее важного аспекта – теории принятия решений. Обсуждается совокупность базовых постулатов формирования теории сложного процесса с историческими примерами. Впервые представлен перевод архивной статьи, имеющей фундаментальное значение для рассматриваемой области научных знаний, а также материалы рецензирования.

Ключевые слова: принятие решений; метод ветвей; метод корня; исследование операций; эмпирический анализ; предпосылки теории.

Введение

В современном мире цифровые потоки несут совокупность разнородной информации по высокоскоростным техническим каналам, удобно обеспечивая потребности исследователей в получении исходных данных для постановки и решения аналитических и прогностических задач. Качество полученных решений зависит как от доступных исходных данных, так и от выбранных способов их преобразования, обработки и представления. Вместе с тем, важным аспектом, остающимся сегодня на периферии внимания, при исследовании доступности информации является положение, суть которого состоит в том, что исследователь получает доступ только к той информации, к которой хочет и может обратиться. Возможности законного доступа определяются ограничениями, налагаемыми владельцем информации, а условием формирования потребности в обращении к конкретной информации является знание о ее существовании.

Современные механизмы поиска информации, реализуемые в форме поисковых программ, обеспечивают возможность нахождения материалов, содержащих заданные ключевые слова и фразы, но не позволяют находить тексты, близкие по смыслу к области интересов исследователя. В силу данного обстоятельства материалы на интересующую тему, изложенные с использованием непривычной терминологии, методические подходы, примененные к принципиально иным объектам исследования, могут оказаться вне поля зрения исследователя, вооруженного самыми современными компьютерными технологиями поиска информации.

Занимаясь на протяженном интервале времени некоторой темой, исследователь изучает большой объем профильной литературы, общается с коллегами на конференциях, симпозиумах и семинарах, постепенно формируя целостное представление о методологическом и содержательном ландшафте выбранной области знаний. В рам-

ках направления исследований ученый ищет белые пятна на карте научных знаний, а также определяет достигнутые границы имеющихся профильных компетенций и пытается определить перспективные направления приложения усилий.

Особенностью научной деятельности является проблема отсутствия продуктивного критерия истинности новых научных знаний. Традиционными критериями установления истинности выступают мажоритарное и верификационное правила, предполагающие учет мнений большинства и наличие согласованного мнения специалистов соответственно. Диалектический подход, гласящий, что критерием истины является общественно-историческая практика, также предполагает наличие института установления и формализации результатов указанной практики. Для оценивания принципиально новых знаний еще не сформированы сообщества специалистов, и тем более невозможно установить их корректность общенародным голосованием. Поэтому часто новые научные достижения не получают заслуженных внимания и оценки в силу неготовности сообщества к восприятию. Многочисленные исторические примеры переоткрытия законов природы подтверждают данный тезис. В большинстве исторических случаев первое наблюдение физического явления порождало не заключение об обнаружении нового закона природы, а сомнения первооткрывателя в корректности выполненных действий или качестве проведенного эксперимента, а то и оставалось просто незамеченным. Часто первооткрыватель не мог оценить пользы нового знания, предложить направления развития, увидеть силу нового эффекта в сочетании с другими факторами.

В 1802 году итальянский физик Джованни Романьези заметил, что находящаяся вблизи проводника, по которому течет ток, магнитная стрелка изменяет свое направление, но совершенно не оценил значения своего наблюдения. Спустя полтора десятилетия подробно исследовал и описал связь между событиями замыкания электрической цепи и отклонением стрелки магнитного компаса Ханс Кристиан Эрстед. Эти результаты подтолкнули других исследователей к активным поискам в данном направлении, что не могло не привести к новым открытиям, во много благодаря событию 1820 года, когда на заседании Парижской академии наук при обсуждении переоткрытого Эрстедом отклоняющего действия гальванического тока на магнитную стрелку Ампер высказал мысль о применении его к телеграфированию.

Жан Батист Жозеф Фурье разработал свой метод разложения функций на гармонические составляющие применительно к процессу распространения тепла в твердом теле, который современники признали далеко не сразу. В качестве непримиримых оппонентов выступали Лагранж и Лаплас. Развитие радио через сто лет дало методу новую жизнь; без преобразования Фурье невозможно представить современную радиофизику и статистическую радиотехнику.

Основы цифровой передачи информации были заложены Клодом Шенноном в конце сороковых годов прошлого века в двух статьях, которые были интересны только узким специалистам. Развитие технологий микроэлектроники через полвека привело к современному положению вещей, когда прилагательное «цифровой» стало элементом многочисленных словосочетаний.

В гуманитарных науках можно привести множество таких же примеров.

При этом необходимо отметить, что многие работы, не относящиеся к мейнстримным направлениям, привлекающим к себе широкое внимание благодаря усилиям журналистского сообщества, остаются незамеченными и через годы могут ока-

заться практически утерянными, несмотря на потенциальную доступность на просторах всемирной сети.

Важнейшим вопросом в теории управления производственными процессами и деятельностью больших коллективов является соотношение принимаемых решений и их реализационных последствий. Любой руководитель мечтал бы иметь непогрешимого советника, дающего верные рекомендации в любой практической ситуации, требующей принятия решения. Традиционные рекомендации опираться на опыт предшественников хороши при осуществлении подавляющего большинства видов деятельности, но совершенно бесполезны при пионерских изысканиях, движении по непроторенным путям, внедрении инноваций, проведении смелых научных и социальных экспериментов.

Поиск инструментов решения таких нетривиальных задач представляет неизбывный интерес современников, но привлекал внимание пытливых умов и десятилетия назад. В архиве *JSTOR* на ресурсе [1] обнаружена интересная статья «Наука о том, «как все-таки выкрутиться» (Подход «детских шажков» в принятии решений)», автором которой является Чарльз Э. Линдблом, доцент экономических наук Йельского университета, известный своими более поздними работами, посвященными отношениям между системами рыночной экономики и демократическими формами правления, устройству и функционированию политико-экономических систем, а также критическому разбору технократических доктрин анализа экономической политики. Линдблом внес существенный вклад в формирование философии социальных исследований и практического применения научных знаний. Свидетельством значимости его работ стало избрание ученого в 1980 г. президентом Американской ассоциации политических наук (*American Political Science Association*). В Йельском университете он долгое время возглавлял Институт социальных и политических исследований – центр междисциплинарных разработок в области государственной политики и смежных вопросов политической и экономической теории, социологии и права.

Линдблом – автор и соавтор цикла книг, в частности: «Unions and Capitalism», «Politics, Economics, and Welfare», «The Strategy of Decision», «The Intelligence of Democracy», «The Policy-Making Process», «Usable Knowledge», «Democracy and Market System», «Inquiry and Change», «The Market System». Наиболее известная его книга «Политика и рынки. Политико-экономические системы мира», ставшая сегодня классическим трудом, награждена премией Вудро Вильсона.

На просторах русскоязычного интернета полного перевода этой статьи нет, хотя затрагиваемые в ней вопросы крайне интересны и актуальны на сегодняшний день. Поэтому вниманию читателей журнала предлагается выполненный адаптированный перевод статьи с комментариями специалистов.

1 Перевод статьи

(Public Administration Review, Vol.19, №2 (весна 1959 г.), стр. 79-88. Постоянный URL: <http://www.jstor.org/stable/973677>)

«Краткие курсы, книги и статьи призывают чиновников более методично принимать решения, но сам процесс принятия решений, используемый в настоящее время государственными администраторами, практически не анализировался. В данной ста-

тье исследуется самый обычный процесс – по сути своей, «закрытый» от предложений применения более «научных» методов.

Чтобы сформировать мозаику государственной политики, решения отдельных чиновников, конечно же, должны быть интегрированы с решениями других. Эта интеграция индивидуальных решений стала главной задачей теории организации, и то, как люди принимают решения, обязательно влияет на то, как эти решения лучше всего сочетаются с решениями других. Кроме того, метод принятия решений связан с распределением ответственности за принятие решений – кто какое решение должен принимать.

Более «научное» принятие решений также обсуждается в статье «Инструменты принятия решений в планировании ресурсов».

Предположим, на чиновника (руководителя направления, администратора и т.д.) возложена ответственность за разработку стратегии в плане инфляции. Он мог бы начать с попытки перечислить все связанные с данной проблемой ценности в порядке важности, например: полная занятость, разумная прибыль от бизнеса, защита небольших сбережений, предотвращение краха фондового рынка. Тогда все возможные результаты стратегии можно было бы оценивать как более или менее эффективные для достижения максимума этих ценностей. Это, конечно, потребовало бы колоссального исследования ценностей, принадлежащих членам общества, и столь же колоссального набора вычислений того, какая часть каждой ценности равна какой части ценности каждой другой. Затем он мог бы перейти к изложению всех возможных альтернатив стратегии. На третьем этапе он, возможно, предпринял бы систематическое сравнение своего множества альтернатив, чтобы определить, какая из них приведет к наибольшему ценностному значению.

При сравнении стратегий он воспользовался бы любой доступной теорией, обобщающей классы стратегий. Например, при рассмотрении инфляции он сравнивал бы все виды стратегий в свете теории цен. Поскольку никакие альтернативы не выходят за рамки его исследования, он будет рассматривать строгий центральный контроль и отмену всех цен и рынков, с одной стороны, и устранение всего общественного контроля с полной опорой на свободный рынок, с другой. И то, и другое он будет рассматривать в свете любых теоретических обобщений, которые он смог бы найти в таких гипотетических экономиках.

И, наконец, он попытается сделать выбор, который фактически и сделает максимальными его результирующие ценности.

Альтернативный подход мог бы состоять в том, чтобы установить в качестве основной задачи, явно или неосознанно, относительно простую цель поддержания уровня цен. Эта задача может быть скомпрометирована или усложнена лишь несколькими другими целями, такими как, например, полная занятость. На самом деле, в результате он проигнорировал бы большинство других социальных ценностей как выходящих за рамки его нынешних интересов, и он даже не попытался бы ранжировать те немногие ценности, которые он считал непосредственно значимыми. Если бы на него оказали давление, он бы быстро признал, что игнорирует многие значимые ценности и многие возможные важные последствия своей стратегии.

В качестве второго шага он бы обрисовывал те относительно немногочисленные альтернативы, которые ему приходили в голову. Затем он сравнил бы их. При сравнении ограниченного числа альтернатив, большинство из которых было знакомо

ему по прошлым случаям, он не нашел бы теоретических основ, достаточно точных, чтобы дать ему возможность сравнить их соответствующие последствия. Вместо этого он в значительной степени полагался бы на отчеты из прошлого опыта, совершая небольшие шаги, чтобы предсказать их последствия в будущем.

Более того, он обнаружит, что альтернативы стратегии по-разному сочетают цели или ценности. Например, одна стратегия может предложить стабильность уровня цен за счет некоторого риска безработицы; другая – меньшую стабильность цен, но и меньший риск безработицы. Следовательно, следующим шагом в его подходе, в качестве окончательного решения, было бы объединение в одно целое выбора между ценностями и выбора среди инструментов для достижения ценностей. И это не будет, как в первом методе разработки политики, приближаться к механическому процессу выбора средств, которые лучше всего удовлетворяют целям, которые были ранее уточнены и ранжированы. Поскольку сторонники второго подхода рассчитывают достичь своих целей лишь частично, они будут ожидать бесконечного повторения только что описанной последовательности по мере изменения условий и устремлений и повышения точности предсказания.

«Метод ветвей» или «метод корня»

Для сложных задач первый из этих двух подходов, конечно, невозможен. Хотя его можно описать, но применить на практике – только для относительно простых задач, да и то лишь в несколько видоизмененном виде. Он предполагает интеллектуальные способности и источники информации, которыми люди просто не обладают, и еще более абсурден как подход к политике, когда время и деньги, которые можно выделить на решение политической проблемы, ограничены, как это всегда бывает. Особое значение для государственных чиновников имеет тот факт, что государственные учреждения обычно получают инструкции не применять первый метод. Иными словами, их предписанные функции и ограничения – политически или юридически возможные – ограничивают их внимание относительно небольшим числом ценностей и относительно небольшим числом альтернативных стратегий среди бесчисленных альтернатив, которые можно вообразить. Поэтому практикуется именно второй метод.

Любопытно, однако, что литература по принятию решений, формулированию стратегии, планированию и государственному управлению формализует первый подход, а не второй, оставляя государственных чиновников, которые принимают сложные решения, в положении, заставляющем применять на практике то, что проповедают немногие. Для наглядности я рискую преувеличить. Действительно, литература хорошо знает об ограничениях человеческих возможностей и о неизбежности того, что реальная стратегия будет тяготеть к какому-то типу, подобному второму. Но попытки формализовать формулирование рациональной стратегии – четко изложить необходимые шаги в процессе – обычно касаются первого подхода, а не второго.

Общая тенденция описывать разработку стратегии даже для сложных проблем в соответствии с первым подходом была обусловлена успехами и популярностью таких научных направлений как исследование операций, статистическая теория принятия решений, системный анализ и др. Отличительными чертами этих направлений, типичных для первого подхода, являются ясность цели, четкость оценки, высокая степень полноты обзора и, где это возможно, количественная оценка значений для мате-

матического анализа. Но эти продвинутые процедуры остаются, в основном, подходящими методами решения относительно небольших задач, когда общее число учитываемых переменных невелико, а проблемы с оценкой ценностью невелики. Чарльз Хитч, глава экономического отдела *RAND Corporation*, одного из ведущих центров по применению этих методов, писал:

Я бы сделал эмпирическое обобщение на основании своего опыта в *RAND* и других организациях, что исследование операций – это искусство субоптимизации, т.е. решения некоторых проблем более низкого уровня, и что трудности возрастают, а наша специальная компетентность уменьшается на порядок с каждым уровнем принятия решений, на который мы пытаемся подняться. Простая явная модель, которую так искусно используют исследователи операций, может, безусловно, отражать большинство существенных факторов, влияющих на управление движением на мосту Джорджа Вашингтона, но доля релевантной реальности, которую мы можем представить с помощью любой такой модели или моделей при изучении, скажем, важного внешнеполитического решения, оказывается почти минимальной.

Соответственно, я предлагаю в этой статье разъяснить и формализовать второй метод, которым в литературе пренебрегают. Его можно описать как метод последовательных ограниченных сравнений (сравнительный анализ постепенных (пошаговых) изменений). Я противопоставлю его первому подходу, который можно назвать рационально-комплексным (всесторонним) методом.

Более наглядно и кратко – и поэтому так они будут называться в этой статье – эти два подхода можно было бы охарактеризовать как «метод ветвей» и «метод корня», причем первый постоянно выстраивается из текущей ситуации, шаг за шагом и небольшими степенями; последний каждый раз начинается с основ заново, опираясь только на прошлое по мере того, как опыт воплощается в теорию, и всегда готов начать с нуля.

Позвольте в самых простых терминах представить характеристики этих двух методов.

а) Рационально-комплексный (корневой метод)

1а. Уточнение ценностей или целей, отличных от эмпирического анализа альтернативных стратегий и обычно являющихся их предпосылкой.

2а. Таким образом, формулирование стратегии осуществляется через анализ средств и результатов: сначала выделяются цели, затем изыскиваются средства для их достижения.

3а. Проверка «хорошей» стратегии заключается в том, что можно показать, что она является наиболее подходящим средством для достижения желаемых целей.

4а. Анализ всесторонний (комплексный); принимается во внимание каждый важный соответствующий фактор.

5а. На теорию часто полагаются в значительной степени.

Полагая, что корневой метод знаком и понятен, переходим непосредственно к рассмотрению его альтернативы. Объясняя второй метод, мы будем описывать, как большинство администраторов на самом деле подходят к сложным вопросам. Поскольку корневой метод – «лучший» метод в качестве плана или модели – на самом деле не работает для сложных вопросов политики, администраторы вынуждены использовать метод сравнительного анализа последовательных изменений.

Переплетение оценки и эмпирического анализа (1b)

Самый быстрый способ понять, как обрабатываются значения в методе последовательных ограниченных сравнений – это увидеть, как корневой метод часто не срабатывает при обработке значений или целей. Идея о том, что ценности должны быть прояснены до изучения альтернативных политик, привлекательна. Но что происходит, когда мы пытаемся применить его к сложным социальным проблемам? Первая трудность заключается в том, что по многим важнейшим ценностям или целям расходятся мнения граждан, конгрессменов и государственных служащих. Даже там, где перед государственным чиновником поставлена довольно конкретная цель, остаются значительные возможности для разногласий по подцелям. Рассмотрим, например, конфликт в отношении размещения государственного жилья, описанный Мейерсоном и Бэнфилдом в исследовании Чикагского жилищного управления – разногласие, которое возникло, несмотря на четкую цель предоставления определенного количества единиц государственного жилья в городе. Точно так же противоречат друг другу цели, связанные с расположением автомагистралей, регулированием дорожного движения, установлением минимальной заработной платы, развитием туристических объектов в национальных парках или борьбой с насекомыми.

б) Метод последовательных ограниченных сравнений (метод ветвей)

1б) Выбор ценностных целей и эмпирический анализ необходимых действий не отличаются друг от друга, а тесно переплетаются.

2б) Поскольку средства и цели не различаются, анализ средств и целей часто неуместен или ограничен.

3б) Подтверждение «хорошей» стратегии обычно заключается в том, что различные аналитики обнаруживают, что они соглашаются непосредственно со стратегией (не соглашаясь при этом с тем, что это наиболее подходящее средство для достижения согласованной цели).

4б) Анализ резко ограничен:

- игнорируются важные возможные результаты;
- игнорируются важные альтернативные потенциальные стратегии;
- игнорируются важные затронутые ценности.

5б) Последовательность сравнений значительно уменьшает или устраняет зависимость от теории.

Администраторы не могут избежать конфликтов, подтвердив предпочтения большинства, поскольку таковые по основным вопросам не зарегистрированы – действительно, при отсутствии публичного обсуждения, достаточного для того, чтобы привлечь внимание электората к какому-либо вопросу, часто не бывает оснований. Кроме того, возникает вопрос, следует ли учитывать интенсивность настроений, а также количество людей, предпочитающих каждую альтернативу? Из-за невозможности поступить иначе администраторы часто вынуждены определять стратегию без предварительного формулирования целей.

Даже когда чиновник решает следовать своим собственным ценностям в качестве критерия для принятия решений, он часто не будет знать, как ранжировать их, когда они противоречат друг другу, как это обычно и бывает. Предположим, например, что чиновнику необходимо переселить арендаторов, проживающих в многоквартирных домах, подлежащих сносу. Одна цель – достаточно быстро освободить зда-

ния, другая – найти подходящее жилье для перемещенных лиц, третья – избежать трений с жителями в других районах, в которых большой приток был бы нежелательным, четвертая – разобраться со всеми заинтересованными сторонами путем убеждения, если это возможно, и так далее.

Как определить даже для самого себя относительную важность этих частично противоречащих друг другу ценностей? Простого их ранжирования недостаточно; в идеале нужно знать, какой частью одной ценности стоит пожертвовать ради какой-то другой ценности. Ответ заключается в том, что обычно администратор выбирает – и должен выбирать – непосредственно среди стратегий, в которых эти значения комбинируются по-разному. Он не может сначала прояснить свои ценности, а затем выбрать одну из стратегий.

Более тонкий третий пункт лежит в основе первых двух. Социальные цели не всегда имеют одинаковые относительные значения. Одна цель может высоко цениться в одних обстоятельствах, другая – в других. Если, например, государственный чиновник высоко ценит как оперативность, с которой его агентство может осуществлять свои проекты, так и хорошие связи с общественностью, не имеет большого значения, какую из двух, возможно, конфликтующих ценностей он предпочитает в каком-то абстрактном или общем смысле. Вопросы стратегии возникают в формах, которые ставят перед администраторами такие вопросы, как: «Учитывая степень, в которой мы достигли или еще не достигли ценности скорости выполнения задач и ценности хороших связей с общественностью, стоит ли жертвовать небольшой скоростью ради более счастливой клиентуры, или лучше рискнуть обидеть клиентуру, чтобы мы могли продолжить нашу работу?». Ответ на такой вопрос зависит от обстоятельств.

Проблема определения ценности, как показывает пример, всегда связана с пошаговой корректировкой. Но нет никакого практического способа сформулировать противоречащие цели или ценности, кроме как в терминах конкретной стратегии. То, что одна ценность предпочтительнее другой в одной ситуации принятия решения, не означает, что она будет предпочтительнее в другой ситуации принятия решения, где она может быть получена только ценой большой жертвы в ущерб другой ценности. Попытки ранжировать или упорядочить ценности в общих и абстрактных терминах, чтобы они не переходили от решения к решению, заканчиваются игнорированием противоречащих предпочтений. Таким образом, значение этого третьего пункта заходит очень далеко. Даже если бы все чиновники имели под рукой согласованный набор ценностей, целей и ограничений, а также согласованное ранжирование этих ценностей, целей и ограничений, их противоречащие значения в реальных ситуациях выбора было бы невозможно сформулировать.

Следовательно, не имея возможности сначала сформулировать соответствующие значения, а затем выбрать одну из стратегий для их достижения, чиновники должны выбирать непосредственно среди альтернативных стратегий, которые предлагают различные противоречащие комбинации значений. Несколько парадоксально, но единственный практический способ раскрыть свои релевантные противоречащие ценности даже самому себе – это описать политику, которую человек выбирает для их достижения. Я не знаю другого способа описать – или даже понять – каковы мои относительные оценки, скажем, свободы и безопасности, скорости и точности правительственных решений или низких налогов и лучших школ, кроме как описать при-

близительно и расплывчато мои предпочтения среди конкретного выбора стратегий, который может быть сделан между альтернативами в каждой из пар.

Таким образом, можно выделить два аспекта процесса фактической обработки знаний. Первый понятен – оценка и эмпирический анализ взаимосвязаны, то есть человек одновременно выбирает среди ценностей и среди стратегий. Говоря более подробно, человек одновременно выбирает стратегию для достижения определенных целей и выбирает сами цели. Второй аспект взаимосвязан с первым, но имеет отличия. Администратор сосредотачивает свое внимание на противоречивых или пошагово результирующих цифрах. Сознает он это или нет, но общие формулировки целей ему не очень помогают, и он фактически проводит конкретные маргинальные или инкрементальные (пошаговые) сравнения. Ему противостоят две стратегии – X и Y . Обе обещают одинаковую степень достижения целей a , b , c , d и д. Но X обещает ему несколько больше b , чем Y , в то время как Y обещает ему несколько больше d , чем X . При выборе между ними ему фактически предлагается альтернатива: улучшение на очередном шаге количество b за счет ухудшения количества d . Единственными значениями, имеющими отношение к его выбору, являются эти приращения, на которые различаются эти две стратегии; и когда он, наконец, делает выбор между двумя противоречащими ценностями, он делает это, делая выбор между стратегиями.

Что касается того, является ли попытка прояснить цели до выбора стратегии более или менее рациональной, чем тесное переплетение противоречивых оценки и эмпирического анализа, установленное принципиальное различие заключается в том, что для сложных проблем первое невозможно и неуместно, а второе одновременно и возможно, и актуально. Второй вариант возможен, потому что чиновнику не нужно пытаться анализировать какие-либо значения, кроме значений, по которым различаются альтернативные стратегии, и ему не нужно обращать на них внимание, за исключением незначительных различий. Его потребность в информации о ценностях или целях резко снижается по сравнению с корневым методом; и его способность схватывать, понимать и соотносить ценности друг с другом не должна иметь какой-то запредельный уровень.

Отношения между средствами и целями (2b)

Принятие решений обычно формализуется как отношение средства к цели: предполагается, что средства оцениваются и выбираются в свете целей, окончательно выбранных независимо от выбора средств и до их выбора. Это отношение средств и целей корневого метода. Но из всего только что сказанного следует, что такое отношение средств и целей возможно только в той мере, в какой ценности согласованы, примиримы между собой и стабильны как минимум. Поэтому обычно такое отношение средств к целям отсутствует в методе ветвей, где средства и цели выбираются одновременно.

Тем не менее, любое отклонение от соотношения средства и цели в корневом методе покажется некоторым читателям немислимым. Ибо им представляется, что только в таких отношениях можно определить, лучше или хуже один стратегический выбор, чем другой. Как чиновник может узнать, мудро он принял решение или нет, если у него нет предварительных ценностей или целей, по которым можно судить о его решениях? Ответ на этот вопрос вызывает третье отличительное различие между корневыми методами и методами ветвей: как определить наилучшую стратегию.

Тестирование на «хорошую» политику (3b)

В корневом методе решение считается «правильным», «хорошим» или «рациональным», если можно показать, что оно достигает определенной цели, причем цель может быть указана без простого описания самого решения. В тех случаях, когда цели определяются только с помощью описанного выше конкурентно-пошагового подхода к ценностям, иногда все же можно проверить, действительно ли стратегия достигает желаемых целей; но точное изложение целей принимает форму описания выбранной стратегии или некоторой альтернативы ей. Чтобы показать, что стратегия ошибочна, нельзя привести абстрактный аргумент, просто заявив, что важные цели не достигнуты; вместо этого следует утверждать, что другая стратегия более предпочтительна.

До сих пор отход от привычных взглядов на решение проблем не вызывает затруднений, поскольку многие чиновники быстро согласятся с тем, что наиболее эффективное обсуждение правильности стратегии принимает форму сравнения с другими стратегиями, которые могли бы быть выбраны. Но как насчет ситуации, когда администраторы не могут договориться о ценностях или целях ни абстрактно, ни в конкурентно-противоречивой постановке задачи? Что же тогда является проверкой «хорошей» стратегии? Для корневого метода нет теста. Согласия по целям нет, стандарта «правильности» нет. Для метода сравнительного анализа постепенных изменений критерием является согласие по самой стратегии, которое остается возможным даже при отсутствии согласия по ценностям.

Было высказано предположение, что продолжающееся согласие в Конгрессе относительно желательности расширения страхования по старости проистекает из желания либералов укрепить программы социального обеспечения федерального правительства и из желания консерваторов снизить требования профсоюзов в отношении частных пенсионных планов. Если это так, то это прекрасная демонстрация той легкости, с которой представители различных идеологий часто могут договориться о конкретной политике. Об аналогичном явлении сообщают и посредники по решению вопросов трудового кодекса: участники не могут договориться о критериях разрешения своих споров, но могут договориться о конкретных предложениях. Точно так же, когда цель одного чиновника оказывается средством для другого, они часто могут договориться о стратегии.

Таким образом, соглашение о стратегии становится единственной реальной проверкой ее правильности. И для одного администратора попытка склонить другого к соглашению о целях ничего не даст и вызовет совершенно ненужные споры.

Если непосредственное согласие в отношении стратегии как критерия «наилучшей» политики кажется плохой заменой проверки стратегии на соответствие ее целям, то следует помнить, что сами цели не имеют окончательной значимости, если только они не согласованы. Следовательно, согласие является проверкой «лучшей» стратегии в обоих методах. Но там, где корневой метод требует соглашения о том, какие элементы в решении составляют цели и какие из этих целей следует искать, метод ветвей опирается на согласие, где бы оно ни было найдено.

Поэтому для администратора вполне разумно определять политику как «хорошую», даже не имея возможности указать, для чего она хороша.

Не-всесторонний анализ (4b)

В идеале при рационально-всеобъемлющем анализе не упускается ничего важного. Но невозможно принять во внимание все важное, если только «важное» не определено настолько узко, что анализ фактически весьма ограничен. Ограничения человеческих интеллектуальных способностей и доступной информации налагают определенные ограничения на способность человека быть всеобъемлющим. В действительности, поэтому никто не может применять рационально-всесторонний метод для действительно сложных задач, и каждый администратор, столкнувшийся с достаточно сложной проблемой, должен найти пути радикального ее упрощения.

Администратор, помогающий в разработке экономической стратегии в сельском хозяйстве, не может, прежде всего, быть компетентным во всех возможных направлениях стратегии. Он даже не может полностью понять одну стратегию. При планировании программы земельного резерва, например, он не может успешно предвидеть влияние более высоких или более низких доходов фермерских хозяйств, скажем, на проблемы урбанизации. То есть, возможное последующее ослабление семейных связей, возможную последующую потребность в пересмотре социального обеспечения и возникающие последствия для налоговых проблем вследствие новых федеральных обязанностей по социальному обеспечению и муниципальных обязанностей по городским службам. Также, если следовать другой линии следствий, он не может проработать влияние программы земельного резерва на цены на сельскохозяйственную продукцию на внешних рынках и последствия для международных отношений, включая те, которые возникают из-за экономического соперничества между Соединенными Штатами и СССР.

В методе сравнительного анализа постепенных изменений упрощение систематически достигается двумя основными способами. Во-первых, это достигается за счет ограничения сравнения стратегий теми стратегиями, которые относительно мало отличаются от действующих в настоящее время. Такое ограничение сразу же сокращает количество исследуемых альтернатив, а также резко упрощает характер исследования каждой из них. Ибо нет необходимости предпринимать фундаментальное исследование альтернативы и ее последствий; необходимо только изучить лишь те аспекты, в которых предлагаемая альтернатива и ее последствия отличаются от статус-кво. Эмпирическое сравнение противоречивых показателей между альтернативными стратегиями, которые различаются лишь незначительно, является, конечно, аналогом пошагового сравнения значений противоречивых показателей, обсуждавшегося выше.

Актуальность, а также реализм

Общеизвестно, что в западных демократиях государственные чиновники и политические аналитики в целом в значительной степени ограничивают свой анализ инкрементными значениями или конкурентно-противоречивыми показателями в стратегии, которые выбраны таким образом, чтобы отличаться только постепенно, пошагово. Однако они делают это не только потому, что отчаянно нуждаются в каком-то способе упростить свои проблемы; они делают это также, чтобы быть актуальными. Демократии почти полностью меняют свою политику посредством постепенных корректировок – политика не меняется семимильными скачками.

Часто отмечается постепенный характер политических изменений в Соединенных Штатах. Две основные политические партии согласны с основными принципами; они предлагают избирателям альтернативную политику только в отношении относительно небольших различий. Обе стороны выступают за полную занятость, но определяют ее несколько по-разному; обе способствуют развитию гидроэнергетических ресурсов, но немного по-разному; и обе выступают за пособие по безработице, но не за одинаковый уровень пособий. Точно так же изменения политики внутри партии происходят в основном через серию относительно небольших изменений, что можно увидеть в их лишь постепенном принятии идеи государственной ответственности за поддержку безработных, изменении позиций партии, начавшееся в начале 30-х гг. и достигшей кульминации в Законе о занятости 1946 года.

Поведение партии, в свою очередь, коренится в общественном мнении, и политические теоретики не могут себе представить, чтобы демократия в Соединенных Штатах выжила при отсутствии фундаментального согласия по потенциально «взрывоопасным» вопросам с последующим ограничением политических дебатов относительно небольших различий в политике.

Поскольку стратегии, игнорируемые чиновником, политически невозможны и, следовательно, неуместны, упрощение анализа, достигаемое за счет сосредоточения внимания на стратегиях, которые различаются лишь пошаговых результатах, не является упрощением вследствие каприза. Кроме того, можно утверждать, что, учитывая пределы знаний, которыми ограничены лица, определяющие политику, упрощение за счет сосредоточения внимания на небольших отклонениях от нынешней политики позволяет максимально использовать имеющиеся знания. Поскольку рассматриваемые стратегии подобны текущим и прошлым стратегиям, чиновник может получить информацию и заявить о некотором понимании. Таким образом, непошаговые политические предложения, как правило, не только политически нерелевантны, но и непредсказуемы по своим последствиям.

Второй метод упрощения анализа – это практика игнорирования важных возможных последствий стратегий, а также результатов, приписываемых пренебрегаемым последствиям. Если оказывается, что это раскрывает шокирующий недостаток метода сравнительного анализа постепенных изменений, то можно ответить, что, даже если исключения случайны, стратегия, тем не менее, может быть сформулирована более разумно, чем с помощью тщетных попыток достичь полноты, превышающей человеческие возможности. В действительности, однако, исключения, кажущиеся произвольными или случайными с одной точки зрения, не обязательно должны быть либо тем, либо другим.

Достижение определенной степени полноты охвата («всеохватности»)

Предположим, что каждая ценность, которой пренебрегает одно учреждение, определяющее политику, является серьезной проблемой, по крайней мере, для одного другого учреждения. В этом случае было бы достигнуто полезное разделение труда, и ни одно агентство не должно было бы найти задачу, выходящую за рамки его возможностей. Недостатки такой системы заключались бы в том, что одно агентство могло бы уничтожить ценность либо до того, как другое агентство смогло бы быть задействовано для ее защиты. Но возможность того, что важные ценности могут быть

утеряны, существует в любой организации, даже там, где агентства пытаются охватить при планировании больше, чем в человеческих силах.

Достоинство такого гипотетического разделения труда состоит в том, что у каждого важного интереса или ценности есть свой сторожевой пес. И эти сторожевые псы могут защищать интересы в своей юрисдикции двумя совершенно разными способами: во-первых, возмещая ущерб, причиненный другими агентствами; и, во-вторых, предвидеть и предотвращать ущерб до того, как он случится.

В обществе, подобном обществу Соединенных Штатов, в котором люди могут свободно объединяться для достижения практически любых общих интересов, и в котором правительственные учреждения чувствительны к давлению этих групп, описанная система становится понятнее. Почти у каждого интереса есть свой сторожевой пес. Не утверждая, что каждый интерес имеет достаточно сильного сторожевого пса, можно полагать, что наша система часто может обеспечить более всестороннее отношение к ценностям всего общества, чем любая попытка единой интеллектуальной всеохватности.

В Соединенных Штатах, например, ни одна часть правительства не пытается провести всеобъемлющий обзор политики распределения доходов. Тем не менее, политика развивается, и она отвечает самым разнообразным интересам. Процесс взаимного согласования между фермерскими группами, профсоюзами, муниципалитетами и школьными советами, налоговыми органами и правительственными учреждениями, отвечающими за жилищное строительство, здравоохранение, дороги, национальные парки, пожарную службу и полицию обеспечивает распределение доходов, в котором проблемы дохода, которыми пренебрегали в один момент процесса принятия решений, становятся центральными в другом.

Взаимное приспособление более распространено, чем явные формы переговоров между группами; оно сохраняется благодаря взаимным воздействиям групп друг на друга даже там, где они не общаются. При всех несовершенствах и скрытых опасностях этого повсеместного процесса взаимного приспособления он часто приводит к адаптации политики к более широкому кругу интересов, чем это может быть сделано одним органом централизованно.

Обратите также внимание на то, как инкрементальная модель разработки политики сочетается с моделью множественного давления. Поскольку, когда решения являются постепенными – тесно связанными с известной стратегией, – одной группе легче предвидеть действия, которые может предпринять другая, и ей также легче исправить уже нанесенный ущерб.

Даже партийность и узость, если использовать уничижительные термины, иногда будут способствовать рациональному принятию решений, поскольку они могут вдвойне гарантировать, что тем, чем пренебрегает одно учреждение, не будет пренебрегать другое; они обучают персонал, основываясь на разных точках зрения. Справедливо утверждение, что эффективная рациональная координация федерального управления, если она вообще возможна, потребует согласованного набора ценностей – если «рациональное» определяется как практика корневого метода принятия решений. Но высокая степень административной координации возникает, когда каждое агентство корректирует свою политику с учетом интересов других агентств в процессе фрагментарного принятия решений, который я только что описал.

При всех очевидных недостатках инкрементального подхода к альтернативным стратегиям, с его произвольным исключением в сочетании с фрагментацией, метод ветвей по сравнению с корневым методом часто выглядит гораздо лучше. В корневом методе неизбежное исключение факторов является случайным, бессистемным и не может быть оправдано ни одним до сих пор признанным аргументом, в то время как в методе ветвей исключения являются преднамеренными, систематическими и оправданными.

Метод ветвей также не обязательно игнорирует долгосрочные соображения и цели. Ясно, что важные ценности должны быть опущены при рассмотрении стратегии, и иногда единственным способом уделить должное внимание долгосрочным целям является игнорирование краткосрочных соображений. Но эти соображения могут быть как долгосрочными, так и краткосрочными.

Последовательность сравнений (5b)

Последним отличительным элементом метода ветвей является то, что сравнения вместе с выбором стратегии осуществляются в хронологическом порядке. Стратегия не делается раз и навсегда – ее делают и переделывают бесконечно. Разработка стратегии – это процесс последовательного приближения к некоторым желаемым целям, в котором само желаемое продолжает меняться при пересмотре.

Создание стратегии – это в лучшем случае очень нечеткий процесс. Ни социологи, ни политики, ни государственные администраторы пока не знают достаточно о социальном мире, чтобы избежать повторяющихся ошибок в предсказании последствий политических шагов. Следовательно, мудрый политик ожидает, что его политика принесет лишь часть того, на что он надеется, и в то же время приведет к непредвиденным последствиям, которых он предпочел бы избежать. Если он проводит ряд постепенных изменений, он избегает серьезных долговременных ошибок несколькими способами.

Во-первых, прошлые последовательности политических шагов дали ему представление о вероятных последствиях дальнейших подобных шагов. Во-вторых, ему не нужно предпринимать резких скачков к своим целям, которые потребуют предсказаний за рамками его или чьих-либо еще знаний, потому что он никогда не ожидает, что его политика будет окончательным решением проблемы. Его решение – всего лишь один шаг, за которым в случае успеха может быстро последовать другой. В-третьих, он фактически может проверять свои предыдущие предсказания по мере того, как переходит к каждому следующему шагу. Наконец, он часто может исправить прошлую ошибку довольно быстро – быстрее, чем если бы политика развивалась через более строгие шаги, разнесенные во времени.

Сравните этот сравнительный анализ постепенных изменений с устремлением использовать теорию в корневом методе. Человек не может мыслить без классификации, без подведения одного опыта под более общую категорию ощущений. Попытка продвинуть категоризацию настолько далеко, насколько это возможно, и найти общие предложения, которые можно применить к конкретным ситуациям, – это то, что я называю словом «теория». Если в этом смысле корневой анализ часто опирается на теорию, то метод ветвей – нет.

Предположение сторонников корневого метода состоит в том, что теория является наиболее систематическим и экономичным способом применить релевантные знания

для решения конкретной проблемы. Если принять это предположение, печальным фактом будет то, что у нас нет адекватной теории, которую можно было бы применить к проблемам в любой области политики, хотя в некоторых областях (например, денежно-кредитной политике) теория более адекватна, чем в других. Сравнительный анализ методом ветвей иногда является систематической альтернативой теории.

Предположим, что администратору необходимо выбрать из небольшой группы стратегий, которые лишь частично отличаются друг от друга и от текущей политики. Он может стремиться «понять» каждую из альтернатив – например, узнать все последствия каждого аспекта каждой политики. Если так, то ему действительно нужна теория. На самом деле, однако, он обычно решает, что для целей разработки стратегии ему необходимо знать, как объяснялось выше, только последствия каждого из тех аспектов политики, в которых они отличаются друг от друга. Для этого гораздо более скромного стремления ему не нужна теория (хотя она могла бы оказаться полезной, если бы она была доступна), поскольку он может приступить к изоляции вероятных различий, исследуя различия в последствиях, связанных с прошлыми различиями в политике. Это является осуществимой программой, поскольку он может взять свои наблюдения из длинной последовательности частичных изменений.

Например, без более общей социальной теории преступности среди несовершеннолетних, чем у ученых, невозможно понять, каким образом различные меры государственной политики – скажем, в отношении образования, жилья, отдыха, занятости, расовых отношений и охраны правопорядка – могут способствовать или препятствовать правонарушению. А такое понимание нужно человеку, если он берется за всесторонний обзор проблемы, предписанной в моделях корневого метода. Если, однако, кто-то просто хочет мобилизовать знания, достаточные для помощи в выборе среди небольшой группы схожих стратегий – например, альтернативных стратегий в отношении судебных процедур по делам несовершеннолетних, – он может сделать это путем сравнительного анализа результатов соответствующих прошлых шагов.

Теоретики и практики

Это различие объясняет, по крайней мере, в некоторых случаях, почему администратор часто чувствует, что внешний эксперт или академический специалист по решению проблем иногда бесполезен, и почему они, в свою очередь, часто подталкивают его к теории. И это объясняет, почему администратор чаще чувствует себя более уверенно, «действуя скорее по инстинкту и своему опыту», чем следуя советам теоретиков. Теоретики часто просят администратора пройти долгий путь к решению его проблем, фактически просят его следовать лучшим канонам научного метода, а администратор знает, что наилучшая доступная теория будет работать хуже, чем более скромные пошаговые движения и сравнения. Теоретики не осознают, что администратор часто практикует систематический метод. Было бы глупо заходить слишком далеко в этом объяснении, ибо иногда лица, принимающие практические решения, не используют ни теоретический подход, ни последовательные сравнения, ни какой-либо другой систематический метод.

Возможно, стоит подчеркнуть, что теория иногда имеет крайне ограниченную полезность в разработке стратегии, по крайней мере, по двум довольно разным причинам. Она «жадна до фактов»: ее можно построить только посредством большого

набора наблюдений. И, как правило, она недостаточно точна для применения в стратегическом процессе, в котором происходят небольшие изменения. Напротив, сравнительный метод одновременно экономит потребность в фактах и направляет внимание аналитика только на те факты, которые имеют отношение к правильному выбору, стоящему перед лицом, принимающим решения.

В отношении точности теории примером может служить экономическая теория. Она предсказывает, что экономика без денег или цен будет определенным образом неправильно распределять ресурсы, но этот вывод относится к альтернативе, далекой от той политики, в которой администраторам нужна помощь. С другой стороны, недостаточно точно предсказать последствия стратегий, ограничивающих слияния компаний, и именно в этом вопросе администраторам нужна помощь. Только в относительно ограниченных областях экономическая теория достигает достаточной точности, чтобы далеко продвинуться в решении вопросов политики; ее полезность в разработке политики всегда настолько ограничена, что требует дополнения сравнительным анализом.

Последовательное сравнение как система

Таким образом, сравнительный анализ постепенных изменений действительно является методом или системой; это отнюдь не фиаско метода, за который администраторы должны извиняться. Тем не менее, его несовершенств, которые не были исследованы в этой статье, много. Например, этот метод не имеет встроенной защиты для всех соответствующих значений, и он также может привести к тому, что лицо, принимающее решения, упустит превосходные стратегии только по той причине, что они не предлагаются цепочкой последовательных шагов политики, ведущих из прошлого в настоящее. Следовательно, следует сказать, что при этом методе, а также при некоторых наиболее изощренных вариантах корневого метода – например, при исследовании операций – стратегия будет оставаться столь же глупой, сколь и мудрой.

Зачем тогда утруждать себя описанием метода во всех вышеперечисленных подробностях? Потому что на самом деле это распространенный метод формулирования политики, и при решении сложных проблем он является основным инструментом, на который полагаются администраторы, а также другие политические аналитики. И потому что он будет превосходить любой другой метод принятия решений, доступный для сложных проблем во многих обстоятельствах. Реакция государственного чиновника на изложение метода, несомненно, будет не столько открытием нового метода, сколько лучшим знакомством со старым. Но если чиновники станут более осознанно использовать этот метод, они смогут практиковать его с большим мастерством и знать, когда расширить или ограничить его использование. (То, что они иногда используют его эффективно, а иногда нет, может объясняться крайними точками зрения на теорию «малых движений/детских шажков» в принятии решений». Одни восхваляют эту теорию как очень сложную форму решения задач, другие считают, что она не является методом вообще. А я подозреваю, что в той мере, в какой есть система, есть и метод.)

Одним из заслуживающих внимания побочных последствий разьяснения метода является то, что он проливает свет на подозрения чиновника, которые иногда у него возникают в том, что консультант или советник говорит неуместно и безответ-

ственно, хотя на самом деле, судя по всем обычным объективным свидетельствам, так оно и есть. Проблема заключается в том, что большинство из нас подходит к проблемам политики в рамках, заданных нашим взглядом на цепь последовательных политических выборов, сделанных до настоящего времени. На размышления о соответствующей стратегии в отношении, скажем, управления городским дорожным движением большое влияние оказывает знание дополнительных шагов, предпринятых до настоящего времени. Администратор обладает глубоким знанием своих прошлых последовательностей, которым не обладают «аутсайдеры», и, следовательно, его мышление и мышление «аутсайдера» будут отличаться таким образом, что это может озадачить обоих. Оба могут казаться разумными, но каждый может посчитать другого некомпетентным. Актуальность цепочки преемственности политики становится еще более очевидной, когда американец пытается обсудить, скажем, антимонопольную политику со швейцарцем, поскольку цепи элементов политики в этих двух странах разительно различаются, и, следовательно, два человека организовали свои знания совершенно по-разному.

Если это явление является барьером для общения, то его понимание обещает обогащение интеллектуального взаимодействия при формулировании политики. Как только источник различий будет понятен, чиновнику иногда будет интересно найти аналитика, чей недавний опыт работы с цепочкой политик отличается от его собственного.

Это снова поднимает вопрос, лишь кратко рассмотренный выше, о достоинствах единомыслия среди правительственных чиновников. В то время как большая часть организационной теории доказывает преимущества общих ценностей и согласованных организационных целей, для сложных проблем, в которых корневой метод неприменим, агентствам потребуется диверсификация персонала. Потребуется администраторы, которые знакомы большинству членов организации, и администраторы, чьи профессиональные или личные ценности или интересы создают разнообразие взглядов (возможно, исходя из разных специальностей, социальных классов, географических регионов). Поэтому даже в рамках одного агентства принятие решений может быть фрагментарным, и одни части агентства могут служить сторожевыми псами для других частей агентства.»

Рецензия на статью

Основную идею статьи «Наука о том, «как все-таки выкрутиться», опубликованной в 1959 году, можно представить, как обоснование практической невозможности применения статистической теории принятия решений и теории оптимального управления к сложным социально-экономическим системам. По мнению автора, эти хорошо формализованные теории на практике применимы только для относительно простых задач, а в качестве альтернативного и единственно возможного подхода к решению масштабных задач управления общественными процессами он рассматривает слабо формализованный подход, предполагающий разбиение сложной и масштабной задачи управления на последовательность более простых частных задач и их решение рациональными методами. Автор называет такой подход методом последовательных ограниченных сравнений.

Собственно, формализация предлагаемого подхода в статье вообще отсутствует. Он декларируется и представляется автором, как сам он определяет «в самых простых терминах». Таковыми являются достаточно абстрактные примеры того, как некие чиновники и администраторы не могут оптимальным образом выстроить стратегию решения задач борьбы с инфляцией, антимонопольной политики, распределения доходов и других действительно масштабных задач, решение которых происходит на длительных интервалах времени и связано с необходимостью учета большого числа факторов и ограничений. В этой ситуации, следуя методу последовательных ограниченных сравнений, необходимо выстраивать свою стратегию пошагово, выбирая на каждом шаге рациональное решение, избегая рисков и стремясь получить некоторое хорошее, пусть и не наилучшее решение. При этом, как указывает автор, нет необходимости «утруждать себя описанием метода», поскольку «на самом деле это распространенный метод формулирования политики, и при решении сложных проблем он является основным инструментом».

По уровню изложения и характеру используемых аргументов статья выглядит даже современно – сейчас многие авторы объявляют себя экспертами в той или иной области и размещают в различных изданиях и информационных ресурсах подобные аналитические материалы, не утруждая себя строгой аргументацией и серьезной аналитикой. Но есть ли здравый смысл в статье Ч.Э. Линдблома, тем более что статья, очевидно, была задумана как научно-популярная и написана в 1959 году, когда методы системного анализа, исследования операций, статистической теории принятия решений, теории оптимального управления только получали широкое распространение? Безусловно, есть.

Во-первых, при всей условности приводимых примеров они свидетельствуют не о неконструктивности теории оптимального управления вообще, а об отсутствии адекватных моделей объекта управления и предметной области, необходимых для реализации оптимального управления и выбора оптимальных стратегий, в терминах статистической теории управления – о преодолении априорной неопределенности. Для сложных общественных процессов и социально-экономических систем такие модели, действительно, могут отсутствовать, тогда и оптимальные методы оказываются неприменимы, но это не говорит об их бесполезности. Это убедительно свидетельствует о необходимости разработки адекватных моделей, и именно в направлении разработки и квалиметрии моделей сложных систем и процессов получают в последние годы основное развитие теоретические и прикладные исследования в области системного анализа и исследования операций. В целом методы оптимального управления оказываются более применимы к сложным техническим системам, нежели к социально-экономическим системам и общественным процессам именно потому, что для последних гораздо сложнее оказывается разработка адекватных моделей.

Сложность, а в ряде случаев невозможность полного преодоления априорной неопределенности и действующих ограничений привела к развитию подходов к формализации рациональных решений. Ч.Э. Линдблом дает в своей статье представление рационального решения следующим образом: «мудрый политик ожидает, что его политика принесет лишь часть того, на что он надеется, и в то же время не приведет к непредвиденным последствиям, которых он предпочел избежать». Со-

временными авторами развиты, по крайней мере, два формализованных подхода к рациональным решениям в управлении. В рамках первого подхода рациональным полагается оптимальное решение, принимаемое в условиях ограничений. Но поскольку те или иные ограничения на практике есть всегда, то остается открытым вопрос о том, в какой степени ограничения приводят к тому, что решение перестает быть оптимальным и становится рациональным. В рамках второго подхода решения, принимаемые оптимальными методами при наличии ограничений, полагаются оптимальными, и разрабатываются те или иные формализованные методы рационального выбора, отличные от методов оптимизации. Общим для большинства методов рационального выбора является использование критерия достижения некоторого уровня целевой функции или сравнения по уровню достижения целевой функции нескольких альтернатив, что предлагается делать и на каждом шаге метода последовательных ограниченных сравнений.

Во-вторых, сформулированный пошаговый подход последовательного решения сложных задач управления на каждом шаге может рассматриваться как терминальное управление для данного этапа решения задачи. Масштаб задачи на каждом этапе ограничивается исходным состоянием объекта управления к началу этапа и желаемым его состоянием, в котором он должен находиться в конце этапа. Уровень сложности задачи для отдельного этапа объективно снижается по сравнению со сложностью решения всей задачей в целом, и для каждого этапа нахождение оптимального или рационального решения (стратегии управления) упрощается. И хотя статья посвящена не терминальному управлению, можно считать, что она в определенной степени превосходит терминальное управление, которое получило интенсивное развитие в последующие годы.

Следует отметить, что у специалистов, занимающихся вопросами управления сложными техническими системами, методы статистической теории принятия решений и теории оптимального управления все эти годы принципиального отторжения не вызывали, при этом для устранения априорной неопределенности получили широкое распространение экспертные методы. В одних случаях их применение было более успешным, в других – менее успешным. Кроме организации управления, направленной на достижение требуемого состояния объекта управления в конце процесса (этапа) управления, что характерно для терминального управления, были разработаны подходы к организации управления, направленные на обеспечение определенного характера (траектории) изменения состояния объекта управления в процессе (на этапе) управления. Замысел таких подходов также можно усмотреть в статье Ч.Э. Линдблома.

Развивая метод последовательных ограниченных сравнений, можно сформулировать в общем виде следующую задачу синтеза оптимального управления сложной системой в условиях априорной неопределенности и ограничений. Вследствие сложности задачи ее решение разбивается на несколько этапов, соответственно достижение глобальной целевой функции управления разбивается на достижение частной целевой функции каждого из этапов. На каждом этапе ищется оптимальное или рациональное решение, но вследствие ограничений достижимое решение может не обеспечивать достижения максимально возможного результирующего целевого эффекта после заключительного этапа. Если это имеет место, то чем больше этапов, тем больше

будет снижение результирующего целевого эффекта после заключительного этапа по сравнению с максимально возможным. Если же уменьшать число этапов и укрупнять их, то для каждого этапа будет увеличиваться степень априорной неопределенности и найденное оптимальное или рациональное решение вследствие более жестких ограничений может еще в большей степени влиять на достижение максимально возможного результирующего целевого эффекта после заключительного этапа. Отсюда следует задача выбора оптимального числа этапов, на которые разбивается процесс управления сложной системой. Для своей формализации данная задача требует формализации моделей предметной области и процесса управления на каждом этапе с учетом ограничений, действующих при каждом из анализируемых вариантов разбиения процесса управления на этапы.

Статья сложно воспринимается в первом чтении. Это связано с ее полемичным характером и, возможно, следствием ее перевода (не плохого перевода, а неизбежной потери при техническом переводе исходного стиля автора на языке оригинала). Но для современных специалистов по системам управления статья должна представлять интерес как с точки зрения истории вопроса оптимального управления сложными системами, который актуален и сегодня, так и с точки зрения развития идей, обозначенных в статье, с учетом достижений в области теории оптимального управления сложными системами за годы, прошедшие со времени написания статьи, и ее сегодняшнего состояния.

Баушев Сергей Валентинович – доктор военных наук, профессор, начальник Научно-образовательного центра, АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: организация производства, оптимизация производственных процессов.

Email: noc.rnv@goz.ru.

Сайбель Алексей Геннадиевич – доктор технических наук, доцент, профессор Научно-образовательного центра, г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: радиокоординатометрия, моделирование и оптимизация сложных системы.

Email: noc.rnv@goz.ru.

Почтовый адрес: 192012, Санкт-Петербург, проспект Обуховской обороны, дом 120.

CH. LINDBLOM'S ARTICLE "THE SCIENCE OF "MUDDLING THROUGH"" AS A PREREQUISITE FOR THE CREATION OF A MODERN THEORY OF OPTIMAL CONTROL AND DECISION MAKING

The results of the study of the historical prerequisites for the formation and development of the modern theory of optimal control and its important aspect - the theory of decision making are presented. The set of basic postulates of the formation of the theory of a complex process is discussed with historical examples. For the first time, a translation of an archival

article, which is of fundamental importance for the area of scientific knowledge under consideration, as well as review materials, is presented.

Key words: decision making; branch method; root method; operations research; empirical analysis; background of the theory.

Baushev Sergey Valentinovich – Doctor of Military Sciences, Professor, Head of the Research and Educational Center, JSC “Obukhovsky plant”, St.Petersburg city.

Research interests: manufacturing organization, manufacturing processes optimization.

Saybel Aleksey Gennadievich – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Scientific and Educational Center, St. Petersburg.

Research interests: radio coordinateometry, modeling and optimization of complex systems.

УДК 530.121

СПЕЦИАЛЬНАЯ ТЕОРИЯ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ ДАЕТ ОШИБКИ В 100 РАЗ И БОЛЕЕ

Плясовских А.П.

В работе показана внутренняя противоречивость специальной теории относительности (СТО). Использование разных формул СТО для расчета одних и тех же физических величин, при одних и тех же условиях приводит к разным значениям. В точных науках это недопустимо. При расчетах физических величин СТО дает ошибки в 100 раз и более. Приведены примеры таких расчетов. Использование формул СТО при разработке навигационной системы космического корабля может привести к ошибкам в расчетах навигационных параметров корабля, а значит, к авариям и катастрофам. Сделан вывод о необходимости разработки альтернативной СТО теории, которая является внутренне непротиворечивой и не противоречит экспериментальным данным.

Ключевые слова: авиация; космонавтика; навигация; специальная теория относительности; СТО; спутниковая навигационная система; теория абберации; эксперимент; экспериментальное опровержение СТО; критика СТО.

Введение

Можно ли себе представить Евклидову геометрию, в соответствии с которой землемер, рассчитывающий площадь участка земли, по одной формуле расчета получает одно значение площади, а по другой – совершенно другое, которое отличается от первого в 100 (сто) раз?

А может ли хоть один пилот (штурман) воздушного лайнера представить себе такую науку, как воздушная навигация, которая при расчетах навигационных параметров (скорости, например) воздушного судна с помощью одной формулы дает одни значения, а с помощью другой формулы – другие значения, которые отличаются от первых тоже в сотни раз?

Существует ли хоть одна точная наука, разные формулы которой при расчетах одной и той же величины, при одних и тех же исходных данных, приводят к значениям, которые отличаются друг от друга в сотню раз?

Такой науки быть не может, уверенно скажет любой читатель, имеющий даже начальное среднее образование, познакомившийся с азами математики и геометрии, и с началами любой точной науки. И будет не прав! Потому что такая наука существует. Называется такая наука специальной теорией относительности (СТО) [1-5]. Автор этой науки – Альберт Эйнштейн.

СТО при расчетах одной и той же физической величины одного и того же тела с использованием разных формул при одних и тех же исходных данных приводит совершенно разным значениям, которые отличаются друг от друга в 100 (сто!) и больше раз!

В этой работе мы приведем примеры расчетов одних и тех же величин с использованием разных формул СТО, которые при одних и тех же исходных данных дают разные значения. В некоторых случаях эти значения различаются в сто раз.

СТО используется в спутниковых навигационных системах, в ракетной и космической технике [6-12]. Очевидно поэтому, что к использованию СТО при разработке навигационных систем и систем наблюдения в авиации и космонавтике нужно подходить осторожно, поскольку использование ошибочных формул в технических системах может привести к ошибочной работе этих систем и, не исключено, к катастрофическим последствиям.

1 СТО дает ошибки в 100 раз

1.1 Расчет физической величины «наблюдаемое число вспышек движущейся к наблюдателю лампы за одну минуту»

Задача 1 о наблюдении за вспышками лампы

В задаче требуется определить физическую величину «наблюдаемое число вспышек движущейся к наблюдателю лампы за одну минуту».

Наблюдатель, расположенный в начале координат, с использованием гипотетического телескопа следит за ходом секундной стрелки движущихся к нему часов. Показания секундной стрелки меняются дискретно в моменты начала очередной секунды.

Рядом с часами движется вспыхивающая лампа, вспышки которой происходят раз в секунду, синхронно с перемещением секундной стрелки (рисунок 1,а).

Сколько вспышек движущейся к наблюдателю лампы он зафиксирует за одну минуту, если учесть, что через телескоп наблюдатель будет видеть одну вспышку одновременно с изменением показаний секундной стрелки на одну секунду?

Для решения задачи нужно использовать следующее положение СТО:

«Если наблюдать часы из системы, по отношению к которой они равномерно движутся со скоростью v , то окажется, что они идут в $1/\sqrt{1 - (v/c)^2}$ раз медленнее, чем те же часы, неподвижные по отношению к этой системе» [3, с. 156].

Решая эту задачу, можно получить, что за интервал времени Δt по своим часам наблюдатель через телескоп зафиксирует

$$n_1 = \Delta t \sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2} \text{ вспышек.} \quad (1)$$

Например, при скорости 0,99 скорости света наблюдатель за одну минуту, то есть при Δt , равном 60 секунд, зафиксирует в среднем

$$n_1 = 60 \sqrt{1 - 0,99^2} = 8,46 \text{ вспышек.}$$

Задача 2 о наблюдении за вспышками лампы

Решим теперь другую задачу. Требуется определить ту же самую физическую величину «наблюдаемое число вспышек движущейся к наблюдателю лампы за одну минуту» другим способом. По направлению к наблюдателю, расположенному в начале координат, движутся часы. Рядом с часами движется лампа, которая вспыхивает один раз в секунду. Кроме этого, рядом с часами и лампой движется передатчик электромагнитных волн, который передает волны с частотой 1 Гц, так что одна волна передается синхронно с одной вспышкой лампы (рисунок 1 б).

Сколько вспышек движущейся к наблюдателю лампы он зарегистрирует с помощью расположенного рядом с ним работающего в оптическом диапазоне фотодетектора вспышек и приемника электромагнитных волн за одну минуту, если учесть, что через приемник электромагнитных волн будет принимать волны синхронно с регистрацией вспышек с помощью детектора (одна э/м волна будет приниматься синхронно с регистрацией одной вспышки фотодетектором)?

$$n_1 = \Delta t \sqrt{1 - (v/c)^2}$$

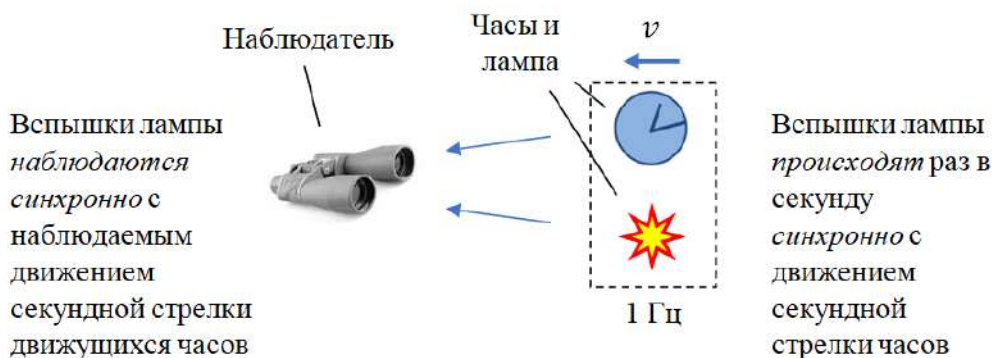


Рисунок 1, а – Определение числа вспышек n_1 лампы, вспыхивающей синхронно с ходом секунд часов, за время Δt . Наблюдение за показаниями секундной стрелки движущихся часов и за вспышками лампы ведется с помощью гипотетического телескопа

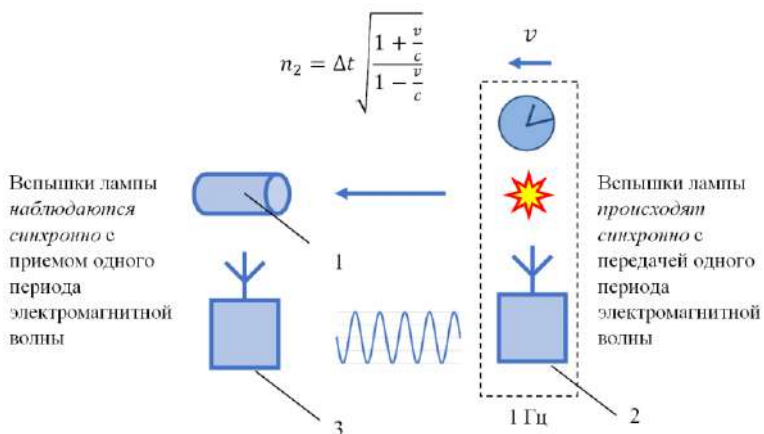


Рисунок 1, б – Определение числа вспышек n_2 лампы, вспыхивающей синхронно с ходом секунд часов, за время Δt : 1 – фотодетектор; 2 – передатчик электромагнитных волн; 3 – приемник электромагнитных волн. Вспышки лампы регистрируются фотодетектором синхронно с приемом одного периода электромагнитной волны

Для решения задачи будем использовать следующую формулу СТО для эффекта Доплера [5, с. 250]:

$$v = v_0 \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}}$$

где ν_0 – частота передаваемой электромагнитной волны, равная 1 Гц,
 ν – частота принимаемой электромагнитной волны.

Из этой формулы получаем, что за одну секунду приемник примет

$$\sqrt{\frac{1+\frac{\nu}{c}}{1-\frac{\nu}{c}}} \text{ волн,}$$

а за интервал времени Δt секунд число принятых волн будет равно

$$n_2 = \Delta t \sqrt{\frac{1+\frac{\nu}{c}}{1-\frac{\nu}{c}}}.$$

Поскольку наблюдаемые вспышки фиксируются фотодетектором одновременно с приемом отдельных волн (одна вспышка фиксируется синхронно с одним периодом принимаемой волны), то за интервал времени Δt фотодетектор зафиксирует

$$n_2 = \Delta t \sqrt{\frac{1+\frac{\nu}{c}}{1-\frac{\nu}{c}}} \text{ вспышек.} \quad (2)$$

В соответствии с этой формулой при скорости, равной 0,99 скорости света, за одну минуту наблюдатель с использованием фотодетектора зафиксирует

$$n_2 = 60 \sqrt{\frac{1+0,99}{1-0,99}} = 846 \text{ вспышек.}$$

Противоречие: вспышки движущейся к наблюдателю лампы происходят синхронно с ходом показаний секундной стрелки движущихся рядом с лампой часов. Таким образом, если следить за вспышками лампы одновременно с наблюдением за ходом секундной стрелки движущихся часов с использованием гипотетического телескопа, и использовать тот факт, что в соответствии со СТО наблюдаемые показания движущихся часов «идут в $1/\sqrt{1-(v/c)^2}$ раз медленнее», чем показания неподвижных часов [3, с. 156], то можно получить формулу (1)

$$n_1 = \Delta t \sqrt{1-(v/c)^2} \text{ вспышек,}$$

в соответствии с которой можно рассчитать наблюдаемое через телескоп число вспышек лампы n_1 за интервал времени Δt .

С другой стороны, если следить за вспышками лампы с помощью фотодетектора одновременно с наблюдением периодов принимаемой электромагнитной волны (вспышки происходят синхронно с передаваемыми в эфир периодами волны, один период волны передается синхронно с одной вспышкой), и использовать соотношение СТО для эффекта Доплера, можно прийти к выводу формулы (2)

$$n_2 = \Delta t \sqrt{\frac{1+\frac{\nu}{c}}{1-\frac{\nu}{c}}} \text{ вспышек.}$$

В соответствии с формулой (1) наблюдатель при скорости 0,99 с зафиксирует $n_1=8,46$ вспышек за минуту.

В соответствии с формулой (2) наблюдатель при этой же скорости за минуту фиксирует $n_2=846$ вспышек.

Рассчитанные значения одной и той же физической величины отличаются в 100 раз!

Вспышки происходят с частотой 60 вспышек в минуту. При этом формула (1) приводят результату, в соответствии с которым наблюдаемая частота вспышек уменьшается по сравнению с частотой их возникновения. А в соответствии с формулой (2) наблюдаемая частота вспышек, напротив увеличивается. Результаты расчета одной и той же величины разными способами существенно отличаются не только количественно, но и качественно.

Вспышки лампы происходят синхронно, во-первых, с ходом секунд движущихся часов, и, во-вторых, с передаваемыми периодами электромагнитной волны: за одну секунду синхронно происходит одна вспышка и передается один период волны.

Информация о ходе секунд движущихся часов и о вспышках лампы идет наблюдателю со скоростью света. Электромагнитные волны движутся к наблюдателю тоже со скоростью света. Поэтому наблюдатель должен фиксировать одновременно:

- моменты наблюдения изменения показаний секундной стрелки движущихся к нему часов с помощью гипотетического телескопа;
- моменты наблюдения вспышек лампы с помощью того же телескопа;
- моменты наблюдения вспышек лампы с помощью фотодетектора вспышек света;
- моменты приема очередного периода электромагнитной волны с помощью приемника электромагнитных волн.

В соответствии с этим независимо от того, каким способом наблюдатель фиксирует вспышки лампы, все способы должны приводить к одному и тому же значению числа наблюдаемых вспышек за интервал времени Δt . Иначе говоря, должно быть $n_1 = n_2$.

Вспомним наш вывод, который мы сделали, обсуждая расчет площади треугольного земельного участка различными способами. Если два разных способа с использованием разных формул дают разные результаты, следовательно, одна из этих формул (не исключено что и обе) являются ошибочными.

То же самое можно сказать и по отношению к физической теории: если два разных способа с использованием разных формул дают разные результаты расчета одной и той же физической величины, следовательно, по меньшей мере, одна из этих формул, является ошибочной.

Формулы (1) и (2) расчета одной и той же физической величины (числа наблюдаемых вспышек движущейся лампы за интервал времени Δt) противоречат друг другу. Формула (1) вытекает из преобразований Лоренца [1, с. 19; 3, с. 156]; формула (2) вытекает из формулы эффекта Доплера для любых скоростей [1, с. 26; 3, с. 156].

Отсюда неизбежно следует вывод: поскольку выводы, сделанные из преобразований Лоренца и формулы эффекта Доплера противоречат друг другу (формулы (1) и (2)), то либо преобразования Лоренца, либо формула эффекта Доплера в СТО являются ошибочными. Не исключено также, что и преобразования Лоренца, и формула эффекта Доплера в СТО являются ошибочными.

Иначе говоря, СТО внутренне противоречива, поскольку разные формулы СТО, используемые для расчета одной и той же физической величины, дают разные результаты. Какие-то из ее формул неизбежно являются ошибочными.

1.2 Расчет физической величины «наблюдаемая длина метровой линейки»

Для того, чтобы проиллюстрировать противоречивость (а значит, и ошибочность) формул СТО, рассмотрим физическую величину «наблюдаемая длина метровой линейки» и рассчитаем ее разными способами с использованием разных формул, приведенных в разных источниках. Пусть метровая линейка движется по направлению к наблюдателю, так что ось линейки совпадает с направлением движения. Как и в предыдущем примере примем, что скорость движения линейки равна 0,99 с.

Найдем наблюдаемую длину линейки.

В работе «О специальной и общей теории относительности» основоположника этой теории говорится: «...длина твердой метровой линейки, движущейся в направлении своей длины при наблюдении из покоящейся системы координат равна $\sqrt{1 - (v/c)^2}$ » [4, с. 548].

Таким образом, первая формула, с использованием которой мы будем рассчитывать наблюдаемую длину твердой метровой линейки выглядит так:

$$l_1 = \sqrt{1 - (v/c)^2}.$$

Первый способ расчета по этой формуле дает значение наблюдаемой длины линейки $l_1 = \sqrt{1 - 0,99^2} = 0,141$ м.

В работе [13] приведена другая формула наблюдаемой длины приближающейся к наблюдателю линейки длиной l_0

$$l_2 = l_0 \sqrt{\frac{1 + \frac{v}{c}}{1 - \frac{v}{c}}}.$$

Расчет по этой формуле наблюдаемой длины метровой линейки при ее приближении к наблюдателю дает значение

$$l_2 = 1 \cdot \sqrt{\frac{1 + 0,99}{1 - 0,99}} = 14,1 \text{ м.}$$

Таким образом, расчет одной и той же физической величины «наблюдаемая длина метровой линейки» при приближении линейки к наблюдателю со скоростью 0,99 с, по одной формуле дает одно значение $l_1 = 0,141$ м, а по другой формуле совершенно другое значение $l_2 = 14,1$ м. Рассчитанные значения одной и той же физической величины с использованием разных формул при одних и тех же исходных данных (направление и скорость движения линейки) отличаются не на несколько процентов, а в 100 раз! Это не может не привести нас к неизбежному выводу о том, что по крайней мере одна (а может быть и обе) из формул является ошибочной. Одна и та же физическая величина в одно и то же время при одних и тех же условиях не может принимать разные (причем кардинально разные, отличающиеся в 100 раз) значения.

Заметим, что перечень примеров, иллюстрирующих внутреннюю противоречивость СТО, можно было бы продолжать и продолжать, но даже бы и одного такого примера было бы достаточно для доказательства несостоятельности СТО. В Евклидовой геометрии, например, нет противоречивых формул, которые при расчете одной и той же геометрической величины при одних и тех же условиях давали бы разные значения. Если бы в Евклидовой геометрии нашелся хоть один пример противоречивых формул, то состоятельность всей геометрии попала бы под сомнение.

1.3 Определение скорости космического корабля с использованием нескольких способов (формул) СТО

Непротиворечивая физическая теория обеспечивает возможность, во-первых, расчета одной и той же физической величины с использованием разных способов (формул) так, что рассчитанные значения этой величины оказываются одними и теми же (одинаковыми) – не зависимо от того, какую формулу используют.

Кроме того, непротиворечивая физическая теория обеспечивает возможность измерения на практике одной и той же физической величины с использованием разных способов (формул) так, что полученные результаты измерений совпадают с точностью, определяемой погрешностью измерений.

Проиллюстрируем это на примере измерения объема правильной треугольной пирамиды.

Объем правильной треугольной пирамиды V , имеющей в основании правильный (равносторонний) треугольник, может быть измерен несколькими способами, с помощью любой из нескольких формул:

$$V_1 = \frac{ha^2}{4\sqrt{3}}, \quad (4a)$$

$$V_2 = \frac{hR^2\sqrt{3}}{4}, \quad (4b)$$

$$V_3 = hr^2\sqrt{3}, \quad (4c)$$

где h – высота пирамиды;

a – длина стороны основания пирамиды;

R – радиус описанной окружности;

r – радиус вписанной окружности.

Эти формулы дают возможность измерить на практике объем правильной треугольной пирамиды несколькими способами.

Способ 1: измеряют длину стороны основания пирамиды a и высота пирамиды h , после чего вычисляют объем пирамиды V_1 по формуле (4a).

Способ 2: измеряют длину стороны основания пирамиды a и радиус описанной окружности R , затем вычисляют объем пирамиды V_2 по формуле (4b).

Способ 3: измеряют длину стороны основания пирамиды a и радиус вписанной окружности r , затем производят вычисления объема пирамиды V_3 по формуле (4c).

Все три способа измерения, при условии, что не было сделано ошибок измерения, а также вычислительных ошибок, приведут, очевидно, к одинаковому результату измерения во всех используемых способах. Другими словами, мы получим $V_1 = V_2 = V_3$.

Итак, непротиворечивая физическая теория гарантирует, что какой бы способ мы ни взяли, сначала для вычисления, а потом и для измерения некоторой физической величины, во всех случаях будет получен один и тот же результат вычислений и измерений.

Рассмотрим концепцию системы наблюдения за межпланетным космическим кораблем, одна из задач которой заключается в измерении такой физической величины, как радиальная скорость движения корабля относительно Земли.

Наша задача состоит в том, чтобы обеспечить возможность измерения скорости корабля несколькими способами, с использованием разных формул СТО. Мы предпо-

лагаем, что корабль будет двигаться со скоростью, соизмеримой со скоростью света, поэтому методы классической физики для измерения скорости корабля, будем считать, здесь не пригодны.

Установим на космическом корабле несколько элементов:

- а) высокоточные часы.
- б) передатчик радиосигналов, обеспечивающих трансляцию в эфир сигналов точного времени часов корабля.
- в) генератор и передатчик, обеспечивающие передачу в эфир электромагнитных волн частотой $\nu_0 = 1$ Гц. Можно использовать любую другую частоту, которая заранее определена и известна.

На Земле в пункте управления полетом космического корабля для измерения его скорость установим:

- а) высокоточные часы.
- б) радиоприемник, обеспечивающий прием сигналов точного времени часов корабля.
- в) приемник электромагнитных волн, обеспечивающий прием переданных с корабля электромагнитных волн и измерение их частоты.

Задача заключается в том, чтобы обеспечить измерение скорости космического корабля разными способами, с использованием разных формул СТО.

Первый способ заключается в том, чтобы измерить наблюдаемый интервал показаний часов корабля Δt_{obs} , в то время как по часам пункта управления пройдет интервал времени Δt_{tr} , и рассчитать с использованием преобразований Лоренца скорость движения корабля.

Второй способ предполагает использование формулы СТО для частоты Доплера. При этом для измерения скорости измеряют частоту принятого электромагнитного сигнала ν_{obs} и по формуле доплеровского эффекта СТО рассчитывают скорость.

Третий способ, как и первый предполагает измерение наблюдаемого интервала показаний часов корабля Δt_{obs} и соответствующего интервал времени по земным часам Δt_{tr} , а также использование третьей формулы.

В соответствии с первым способом измерения будет получена скорость v_1 , второй и третий способы дадут скорости v_2 и v_3 .

При этом если СТО является непротиворечивой теорией, полученные значения скоростей должны совпадать, то есть должно выполняться равенство $v_1 = v_2 = v_3$. Если окажется, что полученные значения скоростей v_1 , v_2 и v_3 отличаются друг от друга, значит, СТО противоречива внутри себя, ее формулы являются ошибочными, и на практике формулами СТО пользоваться нельзя.

Расчет скорости космического корабля 1 способом

Найдем скорость космического корабля с использованием преобразований Лоренца, учитывая, что за то время, как по часам пункта управления пройдет интервал времени Δt_{tr} , измеренный наблюдаемый интервал показаний часов корабля равен Δt_{obs} .

В соответствии с тем, что «Если наблюдать часы из системы, по отношению к которой они равномерно движутся со скоростью v , то окажется, что они идут в

$1/\sqrt{1 - (v/c)^2}$ раз медленнее, чем те же часы, неподвижные по отношению к этой системе» [3, с. 156], можно получить соотношение, связывающее наблюдаемый интервал времени движущихся часов на космическом корабле Δt_{obs} и интервал времени по земным часам Δt_{tr}

$$\Delta t_{obs} = \Delta t_{tr} \sqrt{1 - (v/c)^2}.$$

Сделав несложные преобразования, из этого выражения можно получить первую формулу для скорости космического корабля:

$$v_1 = c \sqrt{1 - \left(\frac{\Delta t_{obs}}{\Delta t_{tr}}\right)^2}. \quad (5)$$

Таким образом, мы получили формулу для расчета и измерения скорости космического корабля путем измерения величины наблюдаемого интервала времени часов корабля Δt_{obs} за соответствующий интервал времени Δt_{tr} , прошедший по земным часам.

Величину Δt_{obs} можно измерить с использованием сигналов точного времени часов корабля, передаваемых с помощью радиостанции на Землю.

Расчет скорости космического корабля 2 способом

Рассмотрим второй способ измерения скорости космического корабля, при котором используется эффект Доплера.

Формула эффекта Доплера для любых скоростей в СТО имеет вид:

$$v_{obs} = v_0 \sqrt{\frac{1 - \frac{v}{c}}{1 + \frac{v}{c}}}$$

где v_0 – частота передаваемых электромагнитных волн;

v_{obs} – частота принятых электромагнитных волн.

Отсюда, сделав простые преобразования можно получить выражение для скорости космического корабля

$$v = c \frac{1 - A}{1 + A}, \quad (6)$$

где $A = \left(\frac{v_{obs}}{v_0}\right)^2$.

Необходимо учесть следующее. Поскольку частота передаваемых электромагнитных волн v_0 , по условию, равна 1 Гц, за интервал времени Δt_{obs} , выраженный в секундах, расположенный на корабле передатчик передаст n_{obs} волн, число которых равно числу секунд в интервале времени Δt_{obs} . Иначе говоря, $n_{obs} = \Delta t_{obs}$, то есть число n_{obs} переданных за интервал времени Δt_{obs} волн численно равно величине этого интервала.

Приемник, установленный в пункте управления полетом примет это число волн за время Δt_{tr} , поэтому частота принятых электромагнитных волн равна, очевидно

$$v_{obs} = \frac{n_{obs}}{\Delta t_{tr}} = \frac{\Delta t_{obs}}{\Delta t_{tr}}. \quad (7)$$

Поскольку

$$A = \left(\frac{v_{obs}}{v_0}\right)^2,$$

то, учитывая (7)

$$A = \left(\frac{\Delta t_{obs}}{\Delta t_{tr}} \right)^2.$$

Подставив это выражение для A в (6) можно получить формулу для скорости космического корабля

$$v_2 = c \frac{1 - \left(\frac{\Delta t_{obs}}{\Delta t_{tr}} \right)^2}{1 + \left(\frac{\Delta t_{obs}}{\Delta t_{tr}} \right)^2}. \quad (8)$$

Расчет скорости космического корабля 3 способом

Рассмотрим третий способ измерения скорости космического корабля, в соответствии с формулой [13]

$$\Delta t_{tr} = \Delta t_{obs} \left(1 + \frac{v}{c} \right), \quad (9)$$

где Δt_{obs} – длительность события, происходящего на движущемся к наблюдателю теле;

Δt_{tr} – длительность этого же события, измеренная наблюдателем по своим часам.

Из этой формулы можно получить

$$v_3 = c \left(\frac{\Delta t_{tr}}{\Delta t_{obs}} - 1 \right). \quad (10)$$

Таким образом, решая задачу определения скорости космического корабля первым способом мы получили выражение (5)

$$v_1 = c \sqrt{1 - \left(\frac{\Delta t_{obs}}{\Delta t_{tr}} \right)^2}.$$

При решении задачи определения скорости вторым способом получено выражение (8)

$$v_2 = c \frac{1 - \left(\frac{\Delta t_{obs}}{\Delta t_{tr}} \right)^2}{1 + \left(\frac{\Delta t_{obs}}{\Delta t_{tr}} \right)^2}.$$

Третий способ решения задачи привел к формуле (10):

$$v_3 = c \left(\frac{\Delta t_{tr}}{\Delta t_{obs}} - 1 \right).$$

Легко убедиться, что все три способа решения задачи дают разные значения скорости, которые существенно отличаются друг от друга $v_1 \neq v_2 \neq v_3$.

Например, если за время по земным часам $\Delta t_{tr} = 3600$ сек, измеренный наблюдаемый интервал времени, прошедший по часам корабля Δt_{obs} равен 1800 сек, то $v_1 = 0,866$ с, $v_2 = 0,6$ с, $v_3 = 1$ с. Положительное значение скоростей v_2 и v_3 говорит о том, что корабль удаляется от Земли.

При $\Delta t_{tr} = 3600$ сек и $\Delta t_{obs} = 4000$ сек, значение скорости, рассчитанное вторым способом, равно $v_2 = -0,105$ с. Третий способ дает $v_3 = -0,1$ с.

Отрицательное значение скоростей v_2 и v_3 говорит о том, что корабль приближается к Земле. При этих условиях подкоренное выражение в формуле (5) становится меньше нуля, и значение скорости корабля v_1 по этой формуле вычислить невозможно!

2 Результаты и обсуждение

Таким образом, в СТО разные формулы и способы расчета и измерения одной и той же физической величины, при одних и тех же условиях, дают разные, несовместимые друг с другом значения.

В непротиворечивой теории такое невозможно. Иначе говоря, СТО противоречива внутри себя, формулы СТО дают при расчетах ошибочные результаты. Поэтому на практике в прикладных науках, при разработке навигационных систем и систем наблюдения в авиационной и космической отрасли эту теорию использовать нельзя. Использование ошибочных формул СТО в технических системах может привести к ошибкам в их работе, и как следствие, к авариям и катастрофам в авиации и космонавтике.

Необходимо отметить, что СТО противоречит новейшим экспериментам. В работе [14] описывается проведенное в 2022 г. в Санкт-Петербурге экспериментальное исследование наблюдаемого темпа хода движущихся часов непосредственно во время их движения (часы располагались на движущихся воздушных судах). Оказалось, что результаты эксперимента противоречат СТО. Экспериментально доказано, что движущиеся к наблюдателю часы по наблюдениям идут быстрее неподвижных, движущиеся от наблюдателя часы по наблюдениям идут медленнее неподвижных. В соответствии со СТО часы при движении независимо от направления движения идут по наблюдениям медленнее неподвижных.

Внутренняя противоречивость СТО, которая выражается в том, что разные формулы СТО расчета одной и той же величины при одних и тех же исходных данных приводят к разным ее значениям (в истинной теории такое невозможно), а также противоречие СТО результатам новейших экспериментов, проведенных в России и в США, говорят о том, что современная наука остро нуждается в другой, альтернативной СТО теории, которая не имела бы ее недостатков.

3 Теория аберрации – это первая теория, альтернативная СТО, которая подтверждена экспериментально

Подходит к завершению многолетняя работа автора по разработке «Теории аберрации», представляющей собой первую альтернативную СТО теорию, которая подтверждена экспериментально. Теория аберрации – это раздел кинематики, изучающий движение тел при скоростях, соизмеримых со скоростью света.

Фрагменты Теории аберрации публиковались частично в работах [14-24]. Теория аберрации позволяет решать задачи, которые невозможно решить с помощью СТО или же при решении которых СТО приводит к ошибочным результатам. В отличие от невероятно сложной СТО Теория аберрации относительно проста для понимания. Теория аберрации не имеет парадоксов, не противоречит здравому смыслу. Теория аберрации имеет ценные практические приложения в навигации и УВД, а также в спутниковой навигации. С использованием Теории аберрации сделаны изобретения, на которые получены патенты. В рамках Теории аберрации впервые сформулирован неизвестный ранее физический закон аберрации величин тела при его движении относительно наблюдателя [17-19]. Открытие законов природы – довольно редкое событие. За всю историю человечества открыто всего около сотни физических законов, российскими учеными открыты всего несколько законов. Поэтому открытие пред-

ставленного в работе нового закона является немаловажным, значимым событием, как для современной физики, так и для науки в целом.

Теория аберрации соотносится со СТО подобно тому, как гелиоцентрическая система мира Коперника соотносится с геоцентрической системой Птолемея.

Система Птолемея и СТО невероятно сложны. По всей видимости, только единицы самых выдающихся умов из числа физиков-теоретиков нашего и прошлого столетия были способны, не путаясь в парадоксах СТО понять ее суть. Вторым общим недостатком системы Птолемея и СТО состоит в том, что эти теории при решении практических задач дают ошибочные результаты. СТО приводит к существенным ошибкам при решении ряда задач навигации и наблюдения, а с некоторыми задачами СТО вообще не может справиться.

Теория аберрации в противоположность СТО, с одной стороны, относительно проста, понятна и не противоречива, а с другой стороны, она дает более точные ответы при решении ряда задач, которые не поддаются решению методами СТО.

Публикация «Теории аберрации» планируется в первой половине 2023 года. О факте публикации можно будет узнать в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU.

Заключение

СТО дает ошибки в 100 раз!

В этой работе продемонстрирован тот факт, что СТО является внутренне противоречивой. Это проявляется в том, что разные формулы расчета некоторой физической величины движущегося тела при одних и тех же исходных данных дают разные результаты. Это подобно тому, как если бы в геометрии разные формулы расчета площади некоторой геометрической фигуры давали разные значения. Приведен пример расчета наблюдаемого числа вспышек приближающейся к наблюдателю лампы за одну минуту с использованием трех разных формул (способов). Оказалось, что все три способа расчета одной и той же физической величины при одних и тех же условиях привели к трем разным значениям, которые кардинально, в сотни раз (!) отличаются друг от друга.

Приведен также пример расчета физической величины «наблюдаемая длина метровой линейки» с использованием разных формул. В одном случае оказалось, что при скорости движения к наблюдателю равной 0,99 скорости света, наблюдаемая длина метровой линейки равна 0,141 м, а вторая формула привела к значению этой же величины 14,1 м! Рассчитанные значения этой (одной и той же) физической величины при одних и тех же условиях и здесь отличаются в 100 раз!

С использованием разных формул СТО выполнены расчеты скорости космического корабля при одних и тех же условиях. Оказалось, что разные формулы СТО приводят к совершенно разным значениям скорости.

Это говорит о том, что по меньшей мере некоторые из использовавшихся для расчета формул СТО неизбежно являются ошибочными.

Очевидно поэтому, что современной науке нужна другая теория, которая адекватно описывает движение тел при скоростях, соизмеримых со скоростью света. Эта теория не должна быть внутренне противоречивой, не должна также противоречить результатам всех экспериментов.

Автором настоящей работы разработана Теория аберрации – первая теория, альтернативная СТО, которая подтверждена экспериментально. Теорию аберрации предполагается опубликовать в ближайшее время.

Литература

- 1 Эйнштейн А. К электродинамике движущихся тел // Собр. науч. тр. – Т. 1. – М.: Наука, 1965. – С. 7-35.
- 2 Эйнштейн А. О возможности нового доказательства принципа относительности // Собр. науч. тр. – Т. 1. – М., Наука, 1965. – С. 49-50.
- 3 Эйнштейн А. Принцип относительности и его следствия в современной физике // Собр. науч. тр. – Т. 1. – М., Наука. – 1965. – С. 138-164.
- 4 Эйнштейн А. О специальной и общей теории относительности // Собр. науч. тр. – Т. 1. – М., Наука. – 1965. – С. 530-600.
- 5 Угаров В. А. Специальная теория относительности. – М.: Наука, 1977.
- 6 Тяпкин, В. Н. Методы определения навигационных параметров подвижных средств с использованием спутниковой радионавигационной системы ГЛОНАСС: монография / В. Н. Тяпкин, Е. Н. Гарин. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012. – 260 с.
- 7 Ashby, N. Relativity in GNSS. In: Ashtekar, A., Petkov, V. (eds) Springer Handbook of Spacetime. Springer Handbooks. Springer, Berlin, Heidelberg, 2014. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-41992-8_24]
- 8 Fidalgo, J. "LIFELINE: Feasibility Study of Space-Based Relativistic Positioning System / Fidalgo, J., Melis, S., Kosti, U., Delva, P., Mendes, L., Prieto-Cerdeira, R. // " Proceedings of the 34th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GNSS+ 2021), St. Louis, Missouri, September 2021, pp. 3979-3989. <https://doi.org/10.33012/2021.18140>
- 9 Global Positioning System: Theory and Application / Edited by B.W. Parkinson, J.J. Spilker Jr. – AIAA. Inc., Washington, vol. 1, 1996.
- 10 Kouba, J. Relativity effects of Galileo passive hydrogen maser satellite clocks. GPS Solut 23, 117 (2019). <https://doi.org/10.1007/s10291-019-0910-7>
- 11 Mudrak, A. Relativistic Corrections in the European GNSS Galileo / Mudrak, A., De Simone, P. & Lisi, M // Aerotec. MissiliSpaz. 94, 2015. С. 139-144 (2015).
- 12 Understanding GPS: Principles and Applications / Ed. by E D. Kaplan. Aitech House, Inc., Norwood, Massachusetts, 1996. [<https://doi.org/10.1007/BF03404697>]
- 13 Болотовский Б. М., Малыкин Г. Б. Видимая форма движущихся тел // Успехи физических наук. – 2019. – Т. 189. № 10. – С. 1084-1103.
- 14 Плясовских А.П. и другие. Эксперимент по измерению наблюдаемого темпа хода движущихся часов // Автоматика и программная инженерия. – 2022. – №4(42).
- 15 Плясовских А.П. Эксперимент, результаты которого противоречат специальной теории относительности // Современные научные исследования и инновации. 2023. № 1.
- 16 Плясовских А.П. О возможности движения тел со сверхсветовой скоростью. – LAPLAMBERT Academic Publishing, 2021. – 152 с.
- 17 Плясовских А.П. Закон аберрации и его приложения в навигации и управлении воздушным движением. – М.: Знание-М, 2022. – 70 с.

18 Плясовских А.П. К вопросу аберрации при продольном движении материальной точки относительно наблюдателя // Современные научные исследования и инновации. – 2022. – № 2.

19 Плясовских А.П. Теория реальности, альтернативная специальной теории относительности // Современные научные исследования и инновации – 2021. – № 11.

20 Плясовских А. П. О законе аберрации // Естественнонаучный журнал «Точная наука». – 2022. – № 131. – С. 30-42.

21 Плясовских А.П. Почему в теории реальности нет парадокса близнецов // Современные научные исследования и инновации. – 2021. – № 12.

22 Плясовских А.П. Теория реальности. В чем она превосходит специальную теорию относительности // Естественнонаучный журнал «Точная наука». – 2021. – №120.

23 Plyasovskikh A.P. et al. The using of special relativity in navigation and ATC // International Scientific Journal "Science and Innovation". Series A. Volume 2 Issue 2. 07.02.2023. – P. 46-61.

24 Plyasovskikh A.P. Eshmuradov D. E. Experiment on measuring the observed rate of a moving clock // International Scientific Journal "Science and Innovation". Series A. Volume 2 Issue 3. 24.03.2023. – P. 169-188.

Плясовских Александр Петрович – доктор технических наук, профессор, АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: радионавигационные системы, моделирование и оптимизация сложных системы.

Email: al.plyasovskih@yandex.ru

Почтовый адрес: 192012, Санкт-Петербург, проспект Обуховской обороны, дом 120.

SPECIAL RELATIVITY GIVES ERRORS OF 100 TIMES AND MORE

The work shows the internal inconsistency of the special theory of relativity (SRT). The use of different SRT formulas for calculating the same physical quantities, under the same conditions, leads to different values. In the exact sciences, this is unacceptable. When calculating physical quantities, SRT gives errors of 100 times or more. Examples of such calculations are given. The use of SRT formulas in the development of a spacecraft navigation system can lead to errors in the calculations of the ship's navigational parameters, and hence to accidents and catastrophes. It is concluded that it is necessary to develop an alternative SRT theory, which is internally consistent and does not contradict the experimental data.

Keywords: aviation; astronautics; navigation; special theory of relativity; satellite navigation system; aberration theory; experiment; experimental refutation of SRT; criticism of STO.

Plyasovskikh Alexander Petrovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, JSC "Obukhov Plant", St. Petersburg.

Research interests: radio navigation systems, modeling and optimization of complex systems.



Учебное пособие содержит материалы преимущественно теоретического характера, которые относятся к классическому наполнению дисциплины радиофизика. Призвано оказать помощь аспиранту в подготовке к сдаче кандидатского экзамена по научной специальности «Радиофизика».

Кандидатский экзамен по специальности является финальным мероприятием в системе подготовки кадров высшей квалификации, призванным определить степень успешности освоения аспирантом учебной программы. Для того, чтобы экзаменационная оценка оказалась высокой, предстоит выполнить значительный объем подготовительной работы. Помощь в систематизации этой работы призвано оказать настоящее издание.

Автор, в надежде на полезность проделанной работы для аспирантов, принял попытку аккумулировать в одном издании совокупность учебных материалов, проблемных вопросов и направлений, а также литературных источников, в которых можно посмотреть предметно интересующий аспект, достаточных для формирования целостного представления об области научных знаний «Радиофизика».

В совокупности с занятиями, проводимыми в рамках учебной программы, настоящее пособие обеспечит аспиранта необходимым минимумом знаний и пониманий, необходимых для успешной сдачи кандидатского экзамена по специальности, подтверждающего наличие требуемых компетенций для обоснованной претензии на степень кандидата наук по выбранной научной специальности.

Сайбель А.Г. Радиофизика: часть 1. Учебное пособие. – СПб.: Балтийская печать, 2022. – 316 с.

РАДИОНАВИГАЦИЯ И ВРЕМЯ

№11 (19) – 2023

Подписано в печать 24.07.2023 г. Формат 84×108 1/16.
Бумага офсетная. Печать цифровая.
Объем 15,54 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ №224-2023.

АО «Обуховский завод»
192012, г. Санкт-Петербург, вн. тер. г. муниципальный округ Рыбацкое,
пр. Обуховской Обороны, д. 120, стр. 19, помещ. 1-Н № 708.

Отпечатано в ООО «Издательство «Балтийская печать».
191119, Санкт-Петербург, ул. Звенигородская, д. 9-11, лит. К, пом. 17Н, ком. 130.