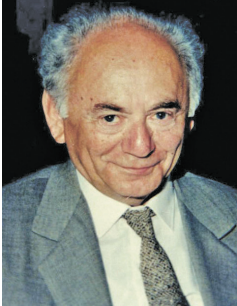


Хаим Борисович Кордонский (1919–1999): ученый, опередивший время¹



Резюме. Статья посвящена жизни и научному наследию Хаима Борисовича Кордонского (1919–1999) – выдающегося советского ученого, основателя научной школы в области прикладной статистики и теории надежности. Рассмотрены ключевые направления его деятельности: пионерские работы по статистическому контролю качества, создание научных основ обеспечения надежности авиационной техники, фундаментальный вклад в теорию цензурированных выборок и несмещенного оценивания сложных систем. Особое внимание уделено его роли в разработке первой в мире компьютерной системы составления расписания полетов для гражданской авиации. Отмечен его вклад как педагога, подготовившего более 50 кандидатов и докторов наук. Научные работы Кордонского сохраняют актуальность и продолжают цитироваться в международных исследованиях.

Введение

Хаим Борисович Кордонский – имя, которое стоит в одном ряду с выдающимися советскими учеными, применившими строгий язык математики к решению сугубо практических задач. Его жизнь и работа стали мостом между фундаментальной наукой, рожденной в ленинградской математической школе, и высокими требованиями реального мира – от контроля качества на заводах до обеспечения безопасности полетов и создания первых в мире компьютерных систем управления в гражданской авиации. Он был не только блестящим математиком-статистиком, но и талантливым организатором, педагогом, воспитавшим целую плеяду ученых.

1. Становление ученого: От Ленинграда до Риги

Хаим Кордонский родился в 1919 году. В 1941 году он окончил математико-механический факультет Ленинградского Университета по специальности «механик». Его студенческие годы были прерваны войной, где он служил солдатом в Народном ополчении, а затем стал слушателем курсов в Ленинградской Военно-Воздушной Академии, служил в авиационной эскадрилье и на авиаремонтном заводе.

Судьбоносным для его научной карьеры стал период адъюнктуры (1947–1950 гг.) в Ленинградской Военно-Воздушной Академии. Его научным руководителем был академик Юрий Владимирович Линник – гигант в области теории вероятностей и математической статистики. Это определило основное научное направление Кордонского.

После защиты кандидатской диссертации в 1950 году он был направлен в Ригу, в Рижское Высшее Военное Авиационное училище. С этим городом и его институтами (позже РИИ ГА, РКИИ ГА, РАУ) была связана вся

его последующая трудовая жизнь. Более 30 лет он заведовал кафедрой «Технологии ремонта и производства летательных аппаратов», став не просто преподавателем, а создателем мощной научной школы.

2. Пионер вероятностно-статистических методов

Научное наследие Кордонского можно условно разделить на два больших направления. Первое – это вклад в развитие и внедрение вероятностно-статистических методов в инженерию и теорию надежности.

Его первые работы, начавшиеся в 1950-х годах, были посвящены статистическому контролю качества продукции. В то время это было передним краем прикладной математической статистики. Его статьи в «Вестнике машиностроения», «Теории вероятностей и ее применениях» и других изданиях заложили основы методов, которые используются до сих пор. Под его руководством внедрялись статистические методы на таких гигантах, как завод ВЭФ, «Автоэлектрприбор», Вагоностроительный и Дизельный заводы.

Краеугольным камнем его ранней научной деятельности был вклад в область статистического контроля качества (СКК).

В послевоенные годы, в 1950-е годы, советская промышленность столкнулась с острой необходимостью повышения качества продукции. Массовое производство требовало эффективных и экономичных методов контроля. Сплошной контроль каждой единицы продукции был дорог, медлителен и зачастую просто невозможен. На этом фоне статистические методы, основанные на выборочном контроле, стали настоящим спасением.

Ведущая роль в разработке этих методов в СССР принадлежала ленинградской математической школе, и ключевой фигурой здесь был А.Н. Колмогоров. Его основополагающая статья 1951 года «Статистический приемочный контроль при допустимом числе дефектных изделий, равном нулю» задала вектор развития для многих ученых, включая Кордонского.

¹ В основу статьи положен доклад, зачитанный проф. А.М. Андроновым на International Conference Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RELSTAT'05) Riga, Latvia, November, 2006.

Кордонский не был кабинетным теоретиком. Его сила заключалась в уникальном сочетании глубокого знания математики и понимания реальных производственных процессов. Он взял сложный аппарат математической статистики (такой как цепи Маркова) и адаптировал его для решения прикладных задач заводских цехов.

Основные проблемы, которые он решал:

– **Контроль на потоке.** Как оценивать качество продукции, которая непрерывно сходит с конвейера? Традиционные методы, разработанные для контроля партий, здесь не подходили.

– **Повышение эффективности контроля.** Как минимизировать объем выборки (и, таким образом, затраты на контроль), сохраняя при этом высокую достоверность выводов о качестве всей партии?

– **Анализ и прогнозирование.** Не просто констатировать брак, но и понимать закономерности его появления, чтобы управлять качеством на опережение.

Ключевые работы того времени (из предоставленного списка видно, как эволюционировали его исследования в этой области):

1953 г.: «Статистический приемочный контроль на поточной и конвейерной линиях». Это была одна из первых работ, где специально рассматривались особенности СКК в условиях непрерывного производства. Кордонский разрабатывал планы контроля, которые были адекватны ритму конвейера, где нет четко выделенных «партий».

1955 г.: «Приложение теории цепей Маркова к контролю партий». Здесь проявилась его математическая подготовка. Цепи Маркова – математическая модель, описывающая последовательность случайных событий, где вероятность каждого события зависит от состояния, достигнутого в предыдущем событии. Кордонский применил этот аппарат для моделирования процесса контроля, когда решение о дальнейшей проверке партии (увеличить выборку, принять или забраковать) зависит от результатов предыдущих проверок. Это позволяло строить более гибкие и оптимальные планы контроля.

1956 г.: «Простейшая форма контроля продукции». Эта работа демонстрирует его стремление к практической реализации. Он понимал, что для широкого внедрения методы должны быть не только точными, но и простыми для применения инженерами и технологами. Он разрабатывал упрощенные, но научно обоснованные методики.

1958 г.: «Анализ точности и контроль качества в машиностроении» (в соавторстве с А.К. Кутай). Это уже крупная, систематизирующая работа. Она вышла в ведущем издательстве «Машгиз» и стала практическим руководством для инженеров-машиностроителей. В книге подробно разбирались, как статистические методы позволяют анализировать точность станков и технологических процессов, а не просто отсеивать брак.

1961 г.: «Распределение числа дефектных единиц в партиях изделий». Эта публикация в авторитетнейшем журнале «Теория вероятностей и ее применения» показывает, что его прикладные исследования имели

серьезное теоретическое подкрепление. Он углубленно изучал вероятностные распределения, лежащие в основе появления дефектов, что позволяло создавать более точные модели и прогнозы.

Теория без практики была для Кордонского бессмысленной. В 1950–1955 гг. под его руководством внедрялись статистические методы контроля качества на заводе ВЭФ, а также он консультировал службы надежности заводов «Автоэлектроприбор», Вагоностроительного и Дизельного. Это означает, что его алгоритмы и методики реально работали на крупнейших промышленных предприятиях СССР, повышая качество и снижая издержки.

Самым ярким свидетельством значимости его ранних работ является тот факт, что на них ссылаются спустя десятилетия. В 2006 году на международном симпозиуме в Израиле в статье о оптимальных планах статистического приемочного контроля его имя стояло в одном ряду с такими классиками, как Ван дер Варден.

Вклад Хаима Борисовича Кордонского в статистический контроль качества заключался в следующем:

– математизация (он поднял прикладные задачи контроля на новый уровень строгости, применяя передовые разделы математики (цепи Маркова, теория вероятностей));

– адаптация (он разработал специализированные методы для современных типов производства (поточные и конвейерные линии));

– внедрение (он напрямую связывал науку с производством, активно внедряя свои разработки на заводах);

– систематизация (его книги и статьи стали мостом между математиками-статистиками и инженерами-практиками).

Именно с этой прочной основы – глубокого понимания статистических методов контроля – он впоследствии перешел к решению еще более сложных задач надежности авиационной техники и создания компьютерных систем.

В 1963 году вышла его знаковая книга «Приложения теории вероятностей в инженерном деле». Это была одна из первых книг, которая доступным языком объясняла сложные вероятностно-статистические методы инженерам-практикам, открывая им дорогу к применению этих инструментов в повседневной работе.

3. Архитектор компьютерной эры в гражданской авиации

В 1965 году Кордонский был приглашен для формирования научных направлений в только что созданном Научно-вычислительном центре (НВЦ) ГА, позже преобразованном в ЦНИИ АСУ ГА. Так началась его вторая великая миссия.

Почти 35 лет он был научным руководителем работ по созданию Центрального компьютерного расписания движения самолетов Аэрофлота – крупнейшей авиакомпании мира того времени. Это был проект колоссальной сложности, особенно с учетом уровня вычислительной техники 1960–70-х годов («Урал-4», перфоленты, линотипы).

Благодаря таланту Кордонского и самоотверженности его команды (В. Венявцев, И. Герцбах, М. Максим, Ю. Парамонов, В. Линис и др.) впервые в мире регулярное расписание движения гигантской авиакомпании стало составляться с помощью компьютера. Его подход был гениально прост: «Прежде чем начать делать расписание на компьютере, научитесь делать его вручную». Это позволяло понять саму суть задачи, отделить главное от второстепенного.

Как вспоминал Илья Герцбах, Кордонский создавал в коллективе уникальную демократическую атмосферу, где ценились дискуссии, критика и свободный обмен мнениями, что и стало ключом к успеху этого амбициозного проекта.



Работая в авиационном институте, Кордонский сразу увидел огромный потенциал применения своей науки к задачам надежности и безопасности полетов. Он решал сложнейшие практические проблемы: определение необходимого количества самолетов-лидеров для опережающего контроля, прогнозирование развития усталостных трещин, оптимизация сроков технического обслуживания и ремонта. Благодаря глубокому пониманию как математики, так и физики процессов (например, износа и усталости материалов), его модели отличались адекватностью и практической ценностью. Он стал непререкаемым авторитетом в Министерстве гражданской авиации.

Вообще, вклад Х.Б. Кордонского в надежность авиационной техники был центральной и наиболее плодотворной темой его научной деятельности, где он выступил как настоящий новатор.

Рижский авиационный институт, где работал Кордонский, готовил не конструкторов, а инженеров по эксплуатации. Это порождало совершенно уникальный круг задач, отличных от задач авиастроения:

– высочайшие требования (любая неисправность в авиации потенциально ведет к катастрофе; требовалась не просто «достаточная» надежность, а максимально возможная, подкрепленная научными расчетами);

– экономика (простое увеличение частоты ремонтов и проверок вело к колоссальным затратам и простоям самолетов; нужно было найти оптимальный баланс между безопасностью и экономической эффективностью);

– «живой» парк (эксплуатанты работают не с идеальными новыми самолетами, а с парком машин разного возраста, с разной историей нагрузок и ремонтов; нужно было управлять надежностью этой сложной, стареющей системы).

Кордонский блестяще увидел в этих проблемах огромное поле для применения вероятностно-статистических методов.

Например, прогнозирование и мониторинг состояния парка самолетов. Проблема заключается в сложности предсказания конкретный узел или конструкция самолета достигнет предельного состояния. Как, не разбирая каждый самолет, оценить состояние всего парка? Кордонский разработал научно обоснованные методы использования «самолетов-лидеров» – специально выделенных самолетов, которые эксплуатировались в более интенсивном режиме или имели опережающий налет. Анализируя данные с этих лидеров (появление усталостных трещин, износ деталей), можно было с заданной вероятностью прогнозировать состояние всего парка.

Другая задача – оптимизация систем технического обслуживания и ремонта (ТОиР). Проводить проверки и ремонты слишком часто – дорого и неэффективно. Проводить слишком редко – опасно. Как найти оптимальные интервалы? Кордонский разрабатывал вероятностные модели отказов. Вместо детерминированного подхода («деталь служит 1000 часов») он рассматривал срок службы как случайную величину с определенным законом распределения. Классика – применение логарифмически-нормального распределения. Кордонский объяснял, что этот закон описывает поведение объектов, которые «упрочняются» со временем (скорость износа падает). Прежде чем применять его, инженер должен был понять физику процесса: а обладает ли данная деталь таким свойством? Это показывает его глубокий подход, связывающий математику с физикой процесса. На основе этих моделей рассчитывались оптимальные сроки проведения инспекций, замены узлов и капитальных ремонтов, минимизирующие риск отказа при заданных затратах.

Анализ и прогнозирование развития повреждений (например, усталостных трещин) – еще одна задача. Например, при проверке обнаружили трещину. Что делать? Немедленно снимать самолет с линии? Или он может летать еще 100 часов? Как спрогнозировать скорость роста этой трещины? Решение Кордонского заключалось в создании математических моделей роста трещин, основанных на данных мониторинга. Это позволяло оценить «остаточный ресурс» элемента конструкции. Это направление напрямую связано с его более поздними работами по исчислению времени деградации в параллельных временных шкалах (календарное время, число взлетов-посадок, часы наработки в крейсерском

режиме). Один и тот же самолет «старел» по-разному в зависимости от типа эксплуатации.

4. Фундаментальный вклад в математическую статистику

Хотя Кордонский решал сугубо прикладные задачи, его решения требовали глубокого теоретического переосмысления классического статистического аппарата. Два его ключевых достижения – это пионерская работа с цензурированными выборками и новаторское применение теории несмещенного оценивания к сложным системам.

Классическая математическая статистика середины XX века была в основном построена на анализе полных выборок. Это означало, что для оценки распределения случайной величины (например, времени до отказа двигателя) исследователь должен был иметь точные значения этой величины для каждого объекта в выборке: объект 1 отказал в момент t_1 , объект 2 – в момент t_2 , и так далее.

В реальной авиационной практике (и не только) это невозможно и преступно: самолеты снимают с эксплуатации для планового ремонта, будучи исправными; детали заменяют по истечению назначенного ресурса, не дожидаясь их отказа; наблюдение за некоторыми самолетами может быть прекращено по причинам, не связанным с изучаемым отказом (например, списание).

В результате статистик получает точное время отказа (для тех единиц, что отказали) и время цензурирования: для остальных единиц известно только, что их время жизни превышает некоторую величину (например, налет до планового ремонта). Такие данные были «неудобными» для стандартных методов. Игнорировать цензурированные наблюдения – значит выбрасывать ценнейшую информацию и получать смещенные, пессимистичные оценки.



Вклад Кордонского заключался прежде всего в формализации проблемы. Он одним из первых в СССР (и в мире) четко сформулировал этот класс задач как центральный для анализа надежности и начал систематически его изучать. Для решения проблемы он предложил «Метод разделяющих разбиений» и, что крайне

важно, адаптировал и развил метод максимального правдоподобия (ММП) для работы с цензурированными данными. Его работы 1966-1986 годов (напр., «Модели отказов», статьи в «Теории вероятностей и ее применениях» и «Технической кибернетике») дали строгое математическое обоснование таким оценкам. Он рассматривал задачи, когда цензурирование происходит не только в одной точке, но и на траекториях в фазовом пространстве, и когда на объект действует несколько конкурирующих причин отказов.

То, что начиналось как решение узкоотраслевой задачи, выросло в целое направление современной математической статистики – «Анализ данных о выживаемости и цензурированные выборки» (Survival Analysis and Censored Data). Сегодня это один из самых востребованных разделов в медицине (анализ времени выживания пациентов), инженерии, экономике и социологии. Сотни известных математиков во всем мире работают в этой области, опираясь на фундамент, который в значительной степени был заложен такими практиками, как Кордонский.

Еще одна задача была решена Кордонским в теории несмещенного оценивания для сложных систем. Суть проблемы заключалась в том, что в 1950-60-е годы, когда статистические методы только начинали массово внедряться, основное внимание уделялось поиску «наилучших» оценок для параметров отдельных случайных величин. Под «наилучшими» понимались несмещенные оценки с минимальной дисперсией (НМО). Например, для нормального распределения было известно, что выборочное среднее – это НМО для математического ожидания. Проблема возникла, когда инженеры перешли к анализу сложных систем, чья эффективность описывается функцией от многих случайных параметров. Например, среднее время ожидания в системе массового обслуживания является сложной функцией от интенсивности входного потока и времени обслуживания.

Так называемый «наивный» подход заключался в поиске «наилучшей» несмещенной оценки для каждого параметра системы в отдельности (λ для интенсивности потока, μ для времени обслуживания) и подстановки этих оценок в формулу для показателя эффективности системы: $\hat{W} = f(\hat{\lambda}, \hat{\mu})$. Недостаток подхода заключался в том, что этот метод игнорирует тот факт, что даже если λ и μ являются несмещенными оценками по отдельности, их нелинейная функция $\hat{W} = f(\hat{\lambda}, \hat{\mu})$ уже не будет несмещенной оценкой для истинного среднего времени ожидания W . Для малых выборок это могло приводить к систематическим и значительным ошибкам при оценке характеристик всей системы.

Вклад Кордонского заключался в смене парадигмы: он осознал, что для сложных систем нужно оценивать не параметры элементов, а непосредственно показатель эффективности системы в целом. К решению задачи он применил фундаментальную теорию. Под его руководством впервые в СССР (а возможно, и в мире) фундаментальные результаты таких гигантов,

как С.Р. Рао (теорема Рао-Блэкуэлла), А.Н. Колмогорова и Д. Блэкуэлла, были применены не в абстрактной теории, а для практического оценивания характеристик сложных систем. Его школа разработала методы построения несмещенных оценок для таких сложных функций, как полиномы от моментов, характеристики систем массового обслуживания и показатели надежности резервированных систем.

Яркий пример – его вопрос ученику, А.М. Андронову: «Саша, а как Вы будете оценивать среднее время ожидания...?» Этот вопрос запустил целую серию исследований, результаты которых были опубликованы в ведущих журналах и монографиях. Кордонский и его школа показали, что «наивный» Plug-In Method – это лишь первое, часто несовершенное приближение. Они заложили основы для корректного статистического вывода о свойствах сложных систем, когда целью является не оценка входных параметров, а оценка выходного показателя. Это имело огромное значение для адекватного прогнозирования надежности и эффективности сложных технических и организационных систем.

Фундаментальный вклад Кордонского заключается в том, что он, оставаясь практиком, расширил границы математической статистики, заставив ее работать с реальными, «неидеальными» данными (цензурирование) и решать реальные, системные задачи (оценивание сложных функций). Он был мостом между абстрактными теоремами и инженерной практикой, и в процессе построения этого моста он создал новые, востребованные временем направления в самой теории.

Под его руководством теория несмещенного оценивания была впервые применена для оценки показателей эффективности сложных систем в целом, а не только их отдельных элементов. Это был прорывной подход, который учитывал, что «хорошие» оценки для частей системы не обязательно дают «хорошую» оценку для системы в целом.

Результатом этой деятельности стали монографии, многие из которых стали классикой: «Модели отказов» (в соавторстве с И.Б. Герцбахом, переиздана Springer), «Вероятностный анализ процессов изнашивания», а также публикации в ведущих советских и международных журналах.

5. Наследие и ученики

Пуа Gertsbakh пишет во вступительной статье сборника трудов конференции 1999 г. *Aviation Reliability-99*, посвященной 80-летию Хайма Борисовича Кордонского:

Together with Yu.Paramonov, V.Venyavcev, M.Maksim and V.Linis, I worked on this project during seven years, which were probably the most productive and most interesting in my whole life. Now I realize that we all were extremely lucky to work under the guidance of a brilliant scientist and an outstanding personality of Khaim Borisovich.

The scheduling project was a very difficult and complex task. Nobody from the high management in the Ministry had even a slightest idea how to approach it and what is meant under the title “Computerized Scheduling”. On top of that, the computers in those days were extremely primitive. “Ural-4” which occupied the whole floor of an old church, has less power than today’s pocket calculator. Even having modern computer power, one should be a man of an outstanding intellectual courage to accept the challenge to be the head of such project.

From prof. Kordonsky we learner important things, and for all life. The first lesson was: before you start doing the computerized schedule, be able to do it manually. This was a clever advice because only after a year of intensive contacts with practitioners, we started to understand what the scheduling is about, was is essential and what is secondary.

Prof. Kordonsky never was a “boss” who issued order and instructions. He created a stimulating atmosphere of intensive exchange of opinions and discussions, sometimes heated, but always efficient. He was open to any suggestion and critical remark. In spite of this tremendous scientific authority, nobody was afraid of asking questions or of insisting on this opinion. I am convinced that a truly democratic in our group was the key factor for the success of the project.

В последние годы пребывания в Латвии Хайм Борисович Кордонский увлекся применением вероятностно-статистических методов в медицине, в частности, при диагностике работы сердца. За полученные здесь результаты в 1985 г. ему была присуждена Государственная премия Латвии.

Последние работы Хайма Борисовича Кордонского посвящены теории исчисления времени деградации систем, наработка которых измеряется в различных шкалах (календарном времени, числе циклов, часах наработки в разных режимах и т.п.). Большинство из этих работ опубликованы в ведущих зарубежных научных журналах.

Даже в последние годы жизни Кордонский продолжал исследовать новые frontiers, применяя свои методы в медицине (диагностика работы сердца), за что в 1985 году был удостоен Государственной премии Латвии, и развивая теорию исчисления времени деградации систем в различных временных шкалах.

Но, пожалуй, главным его наследием стали ученики. Под его руководством было подготовлено более 50 докторов и кандидатов наук. Его последователи сегодня работают по всему миру – от Канады до Австралии, многие стали ведущими учеными в Латвии (члены-корреспонденты ЛАН Н. Салиниекс и Я. Рудзитис, профессора Ю. Парамонов, А. Андронов, Ю. Мартынов и др.).

Заключение

Кордонский стал непререкаемым авторитетом в Гражданской авиации. Министерство, научно-исследовательские институты (ГосНИИ ГА) и ремонтные

предприятия обращались к нему за консультациями и рекомендациями. Его работы публиковались в ведущих советских и международных журналах. Монография «Модели отказов» (1966, в соавторстве с И.Б. Герцбахом) стала международным бестселлером и была переиздана Springer. На кафедре под его руководством сформировался мощный научный коллектив. Защита кандидатской диссертации его ученика, Ильи Герцбаха, где официальным оппонентом был сам академик Б.В. Гнеденко (отец-основатель теории надежности в СССР), стало событием всесоюзного масштаба.

Хаим Кордонский не просто применял готовые статистические формулы к авиации. Он создавал новые математические аппараты для решения специфических, жизненно важных задач авиационной эксплуатации. Его работы заложили основу для прогнозного (предиктивного) обслуживания, которое сегодня, в эпоху Big Data и IoT, является стандартом в современной авиации. Он превратил обеспечение надежности из искусства инженеров-практиков в строгую науку, основанную на вероятностных моделях и статистических выводах.

Хаим Борисович был ученым-универсалом, чьи работы заложили основы современных методов надежности, статистического анализа данных и даже искусственного интеллекта в планировании. Он обладал редким даром – видеть глубокую математическую суть в практических задачах и находить для них изящные и эффективные решения. Его жизнь – это пример того, как теоретическая мысль, будучи воплощенной в практику, способна менять целые отрасли и обеспечивать безопасность и эффективность в масштабах страны.

Список ключевых работ

Кордонский Х.Б. (1953) Статистический приемочный контроль на поточной и конвейерной линиях. Вестник машиностроения, 7.

Кордонский Х.Б. (1955) Приложение теории цепей Маркова к контролю партий. Вестник Ленинградского университета, 11.

Кордонский Х.Б. (1956) Простейшая форма контроля продукции. Стандартизация, 5.

Кутай А.К., Кордонский Х.Б. (1958) Анализ точности и контроль качества в машиностроении, гл. 3, 4. Машгиз, М-Л.

Кордонский Х.Б. (1959) Вероятное качество продукции. Стандартизация, 10.

Кордонский Х.Б. (1961) Распределение числа дефектных единиц в партиях изделий. Теория вероятностей и ее применения, 3.

Кордонский Х.Б. (1964) Расчеты и испытания усталостной долговечности. Труды 4-го Всесоюзного математического съезда, Наука, Москва.

Герцбах И.Б., Кордонский Х.Б. (1966) Модели отказов. Советское радио, Москва. (1969. Gertsbakh I. and Kordonsky Kh. Models of Failures. Springer, Berlin – Heidelberg – New York)

Герцбах И.Б., Кордонский Х.Б. (1966) Модели отказов. Советское радио, Москва.

Кордонский Х.Б. (1967) Вероятностный анализ процессов изнашивания. Наука, Москва.

Кордонский Х.Б., Герцбах И.Б., В.Венявцев., Максим М., Линис В. (1969) Эвристический метод составления авиационного расписания. В сборнике Автоматизация в машиностроении, АН СССР, Москва.

Кордонский Х.Б., Линис В. и др. (1969) Алгоритмы составления планов движения пассажирских самолетов. В Трудах 4-го Конгресса по автоматическому управлению, Варшава.

Кордонский Х.Б., Венявцев В. и др. (1970) Центральное расписание движения самолетов, как часть управления воздушным движением. В Трудах 1-го Международного симпозиума по управлению движением, Версаль.

Артамановский А.В., Кордонский Х.Б. (1970) Оценка максимального правдоподобия при простейшей группировке данных. Теория вероятностей и ее применения, 1.

Андронов А.М., Кордонский Х.Б., Розенблит П.Я. (1972) Применение теории несмещенных оценок в задачах массового обслуживания. Изв. АН СССР Техническая кибернетика.

Кордонский Х.Б., Розенблит П.Я. (1976) О несмещенном оценивании полиномов от моментов. Теория вероятностей и ее применения, 1.

Кордонский Х.Б., Растринин В.Л. (1985) Случайное цензурирование на траекториях в фазовом пространстве. Изв. АН СССР Техническая кибернетика, 6

Кордонский Х.Б., Растринин В.Л., Шулькин З.А. (1986) Оценивание показателей надежности при действии нескольких причин. Изв. АН СССР Техническая кибернетика, 6.

Kh.Kordonsky and I.Gertsbakh. (1993) Choice of the Best Time Scale for Reliability Analysis. *Europ. J. Operat. Res.*, 65.

Kh.Kordonsky and I.Gertsbakh. (1994) Best Time Scale for Age Replacement. *Inter. J. of Reliab., Quality and Safety Engineering*, 1.

Kh.Kordonsky and I.Gertsbakh. (1995) System State Monitoring and Lifetime Scales. I, II. *Reliab. Engineering and System Safety*, 47, 49.

Kh.Kordonsky and I.Gertsbakh. (1997) Multiple Time Scales and the Lifetime Coefficient of Variation: Engineering Applications. *Lifetime Data Analysis*, 3.

Kh.Kordonsky and I.Gertsbakh. (1997) Fatigue Crack Monitoring on Parallel Time Scales. *Proceedings of ESREL 97, Lisbon, June 17-20, 1997*, 2.

Kh.Kordonsky and I.Gertsbakh. (1997) Optimal Preventive Maintenance in Heterogeneous

Kh.Kordonsky and I.Gertsbakh. (1998) Parallel Time Scales and Two-Dimensional Manufacturer and Individual Customer Warranties. *IIE Transactions*, 30.

Kordonsky Kh.B., Gertsbakh I.B. (1999) Using Entropy Criterion for Job-Shop Scheduling Algorithm. *Environment. Europ. J. Operat. Res.*, 98.

Бочков А.В.
29.11.2025