

ЧЕПУРИН Е. В.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ

§ 1. Введение

Надежность изделия — сложное понятие, включающее в себя, среди прочих, свойство изделия в течение какого-то времени сохранять значения своих характеристик в заданных пределах, что позволяет использовать его в это время по назначению ([48], [69]). Процесс утраты указанного свойства носит, как правило, недетерминированный характер. Для оценки, расчета и прогноза надежности изделия широко применяются математические методы и, прежде всего, стохастические методы.

Теория надежности, как раздел приложений вероятностно-статистических методов, своими истоками восходит к исследованиям 30-х годов данного столетия, связанным с задачами контроля качества массовой продукции. Впоследствии математическая теория контроля качества сформировалась в самостоятельную дисциплину ([48], [12]). В современном понимании проблематика теории надежности была осознана и сформулирована к концу 50-х — началу 60-х годов. В промышленности, непосредственно на предприятиях, были созданы отделы надежности, на которые была возложена обязанность непосредственного контроля, анализа и управления качеством и надежностью. В научных и инженерных кругах развернулась работа по созданию методов расчета и экспериментальной оценки надежности изделий (см. [6], [38], [41], [45], [48], [49], [51], [58]–[60], [64], [65], [91], [94], [100], [104], [144]).

Привлечению к разработке математических проблем теории надежности как молодых, начинающих ученых и инженеров-прикладников, так и уже состоявшихся ученых в немалой степени способствовало создание «Кабинета надежности» при Политехническом музее Москвы, большая и плодотворная издательская деятельность общества «Знание» и широкая лекционная и консультационная деятельность коллектива ученых Московского государственного университета, руководимого академиком Борисом Владимировичем Гнеденко.

Среди многочисленных направлений исследований в математической теории надежности наиболее продвинутые результаты связаны с

решением проблем резервирования ([48], [101], [117]); анализа надежности сложных систем (см. [45], [58], [59], [64], [69]); оптимизации обслуживания и профилактики (см. [8], [9]); управления использованием запасных компонент (см. [39], [45]); поиска неисправностей (см. [45], [60]); форсированных испытаний ([56], [96]); статистического анализа данных об испытаниях на надежность и данных о результатах эксплуатации изделия и построения на их основе выводов о его надежности ([45], [48], [69]). Именно последнее направление исследований является предметом данной работы. При этом мы считаем, что данные при стендовых испытаниях изделий на надежность и данные о результатах эксплуатации изделий той же номенклатуры статистически однородны, т. е. порождены одним и тем же вероятностным распределением. Таким образом, важное направление статистического анализа *форсированных испытаний*, представленного, например, в работах [24], [56], [57], [112], а также в книге А.В. Нагаева «Элементы теории вероятностей и математической статистики» (Ташкент, Укитувчи, 1987), здесь не затрагивается.

Математическим основанием для решения статистических проблем теории надежности являются фундаментальные результаты теории вероятностей и математической статистики. В связи с этим не лишним будет отметить, что становление статистического раздела теории надежности происходило под воздействием идей и личности А.Н. Колмогорова, который весьма серьезно и ответственно относился к уровню исполнения прикладных работ. Он требовал от них четкости и обоснованности постановки и реализуемости решения. Планка, установленная в его работах [61], [62], которые, по сути своей, явились первыми в стране работами по статистическим проблемам надежности, в исследованиях его непосредственных учеников Б.В. Гнеденко [47], [48], Ю.В. Прохорова [89], [90], Л.Н. Большева [26]–[35], Ю.К. Беляева [10]–[22], [48] и других ведущих специалистов [45], [69] постоянно поддерживается на высоком теоретическом уровне.

Расширение же класса рассматриваемых моделей во многом шло параллельно с развитием в стране вычислительных средств. Можно указать на два обстоятельства, которые позволяют говорить о статистических проблемах теории надежности как об относительно самостоятельном разделе общей теории статистического анализа данных. С одной стороны, данные об испытаниях на надежность, подлежащие анализу, имеют, как правило, довольно сложную структуру. Так, например, в цензурированных выборках наблюдаются не все значения случайной величины, а лишь те, которые принадлежат определенной области. В противном случае констатируется факт выхода значения случайной величины из указанной области. При статистической обработке таких данных возникают дополнительные сложности вычислительного характера. Второе обстоятельство — это набор характеристик и функций, относительно которого строятся статистические выводы. Он специфици-

чен для теории надежности и с трудом интерпретируется в других областях приложений статистических методов. Это, прежде всего, функция интенсивности отказа, функция восстановления, функции надежности последовательной, параллельной, последовательно-параллельной системы и т. д.

Многие изделия можно представить себе в виде совокупности функционально выделенных компонент, качество функционирования каждой из которых характеризуется скалярной величиной. Изделие в целом будет характеризоваться набором этих величин. Вне зависимости от физической сущности этих величин будем называть их далее *временами жизни* соответствующих компонент. Если реальная компонента характеризуется векторной величиной, введем фиктивные компоненты в числе, равном размерности этого вектора и, тем самым, характеристики, и вновь приведем к описанной выше схеме. Если изделие состоит из одной компоненты, будем говорить о нем как об *элементе*, в противном случае — как о *системе*. Предметом интереса в системе являются функции от времен жизни компонент. Среди наиболее известных систем — последовательная и параллельная (резервированная) системы. В первом случае интересуются минимумом времен жизни элементов, в во втором — максимумом (горячий резерв) или суммой времен жизни (холодный резерв) элементов (см. [48], [69], [100]).

Времена жизни считаем случайными величинами, порожденными вероятностным распределением, которое не известно полностью или известно лишь с точностью до неизвестного параметра. По существу, проблема статистического анализа сводится к построению статистического вывода о значении некоторого функционала от порождающего распределения на базе данных об испытаниях изделий на надежность, или на базе данных об эксплуатации изделий, или на основе того и другого. Дальше будем говорить о данных. Характерной особенностью данных о надежности изделия является то, что они получены в соответствии с некоторым *планом* испытаний, т. е. системой правил наблюдения за реализациями значений случайных времен жизни. Например, для последовательной системы может наблюдаться минимум времен жизни компонент и номер компоненты, на котором реализовался этот минимум. Относительно остальных компонент известно лишь, что они больше минимума. Неполнота информации или цензурированность данных является фактором, осложняющим процесс построения статистических выводов.

Под статистическими выводами понимаем, как обычно, точечное и доверительное оценивание, проверку гипотез. Многообразие систем, планов получения данных, семейств порождающих распределений и функционалов, относительно которых строятся выводы, затрудняют выбор способа классификации в гамме результатов по статистическим проблемам теории надежности. Принятая ниже схема — одна из возможных. В то же время, она в определенной степени отражает ретроспекти-

ву пути развития статистических методов теории надежности в нашей стране.

Приведенная в данной работе библиография содержит лишь труды отечественных ученых. Это не означает, что в процессе их исследований не используются достижения зарубежных коллег. Даже беглый просмотр библиографии цитированных здесь работ показал бы, что наука во всем мире едина и научный диалог постоянен. Библиография данной работы отражает приоритетные, насколько это удалось выяснить, результаты наших ученых и степень адаптации достижений зарубежных коллег.