

УДК 004(075.8): 681.5.033.2: 519.246

# УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ «ПРОГРАММНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ»

**В.М. Трояновский**

*Национальный исследовательский университет «МИЭТ»*

Россия, 124498, Москва, Зеленоград, пл. Шокина, д.1

E-mail: [troy40@mail.ru](mailto:troy40@mail.ru)

**Ключевые слова:** программная инженерия, международные стандарты, информационное обеспечение управляющих систем, прикладная теория случайных процессов.

**Аннотация:** В свете требований Федеральных государственных образовательных стандартов и международных «Рекомендаций по преподаванию программной инженерии и информатики в университетах» рассматриваются предпосылки, содержание и особенности построения авторского учебного пособия, изданного в 2018 году. Обоснованы особенности методики изложения материала в связи с системно-связанными ограничениями выбранной предметной области. Пособие имеет две части: в виде обычной книжной формы и электронного приложения, предоставляющего информацию по общим вопросам программирования, теории и заданий для лабораторных работ и файлы действующих демонстрационных программ. Приведены ключевые результаты и сравнительный анализ с зарубежными и отечественными учебными пособиями схожей тематики.

## 1. Введение

Федеральные государственные образовательные стандарты узаконили компетентностный подход в качестве основы современного обучения в вузах [1]. Содержательный обзор и анализ всемирного опыта преподавания программной инженерии в университетах и колледжах приведен в переводе на русский язык документа «Рекомендации по преподаванию программной инженерии и информатики в университетах» [2].

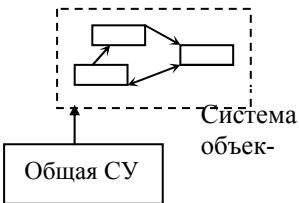
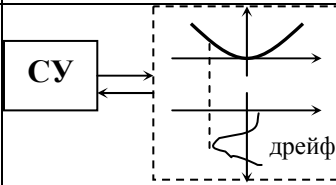
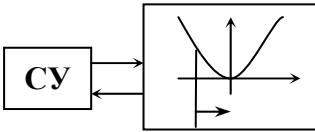
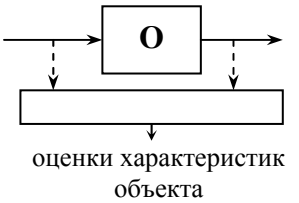
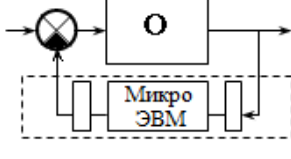
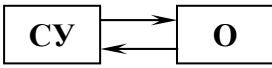

Это потребовало переработки учебно-методической базы, в том числе, для направлений, связанных с информатизацией и автоматизацией производственных процессов.

## 2. Исходная база и задел

Создание нового поколения информационно-управляющих систем различного класса было одной из задач, указанных в правительственном Постановлении об организации в Зеленограде Научного Центра микроэлектроники, где автор проработал более 40 лет. До 2014 г. в Национальном исследовательском университете МИЭТ при подготовке студентов по специальности 220400 автором успешно читался курс «Программное обеспечение управляющих систем» (ПОУС) с использованием разработанного им учебного пособия [3]. Опираясь на определение В.А. Трапезникова: «Управление - это

борьба с неупорядоченностью», в этом пособии и его модификации [4] введена иерархическая классификация задач управления и методов их решения (см. таблицу 1).

Таблица 1. Сопоставление задач управления и методов их решения

Вид неупорядоченности	Иерархия систем и алгоритмов	Схема взаимодействия	Математический аппарат и ограничения
Несоответствие форм и методов подготовки и обработки информации в общей системе	ИАСУ, ГСП, САПР		Потоки событий Случайные процессы Работа в реальном времени
Несоответствие материальных потоков	АСОДУ		
Дрейф характеристик объекта и/или возмущений	Адаптация		Нелинейности Дискретно-непрерывные преобразования Динамические объекты Случайные процессы
Несоответствие режима оптимальному, переход с режима на режим	Оптимизация (Однократная)		Единственная реализация Ограниченное время наблюдения
Недостаточная изученность процесса, переход с режима на режим	Идентификация		Динамические объекты Случайные процессы Единственная реализация Ограниченное время наблюдения
Непрерывные возмущения нормальных режимов функционирования динамических объектов	Прямое цифровое регулирование		Динамические объекты Дискретно-непрерывные преобразования Случайные процессы
Задержки в исполнении стандартных логических функций	Контроллер		Математика дискретных детерминированных событий Стандартная статистика
Несоблюдение временных требований регламента	Программатор		

При написании [4] использован опыт автора:

- по работе в промышленности: разработка программ для первых отечественных мини- и микро-ЭВМ, а также информационных и управляющих систем на их основе [5], работа Главным конструктором по оснащению всего семейства отечественных диалоговых вычислительных комплексов (ДВК, самого массового персонального компьютера в СССР) базовым программным обеспечением – как в части приклад-

- опытных программ, так и в части операционных систем реального времени;
- опыт научной и методической работы: около 200 публикаций по программному и техническому обеспечению, автоматизации научных исследований; книги в издательствах «Советское радио» и «Высшая школа» – десятками тысяч экземпляров;
- опыт подготовки инженерных и научных кадров высшей квалификации;
- доклады на конференциях, организованных ИПУ РАН, IEEE, IFAC.

### **3. Требования международных рекомендаций, модификация курса ПОУС и достигнутые результаты**

Анализ требований «Рекомендаций...» вскрыл дополнительные достоинства структуры и организации курса ПОУС, в первую очередь – в части требований к дополнительным разделам знаний. Горизонтальная линия в таблице 1 указывает уровень, покрывающий требования, приведенные в «Рекомендациях по программной инженерии». Однако ни динамика, ни случайные процессы не попали в поле зрения специалистов, готовивших «Рекомендации», а также отечественные учебники по программной инженерии [6, 7]. А это сразу отсекает верхние уровни систем управления, начиная уже с Прямого цифрового регулирования. В отечественных и зарубежных учебниках по основам автоматического управления [8-11] отсутствует (или применяется жестко критикуемый, см. ниже) анализ работы систем в условиях случайных воздействий и помех.

Анализ проблематики информационно-управляющих систем, указанных в таблице 1, позволил определить системно-связанные ограничения в виде:

- работа в реальном времени;
- стохастичность воздействий и малая изученность объектов;
- принципиально ограниченная длина доступных реализаций и использование данных от единственного объекта;
- динамическое преобразование сигналов в объекте исследования;
- дискретно-непрерывные преобразования сигналов.

Названные проблемы обычно освещаются в учебниках и научной литературе лишь с какой-то одной стороны, решаются по отдельности, иногда – только обозначаются или содержат ссылочную библиографию. Вместе с этим, объективное совместное существование названных ограничений ведет к усилению их совместного влияния при решении задач управления, моделирования и идентификации.

Учебное пособие [4] расширяет круг рассмотрения задач в части методов анализа динамических объектов, дискретно-непрерывных преобразований, определенных разделов прикладной теории случайных процессов, работы в реальном времени.

Центральную часть книги составляет анализ линейных и нелинейных динамических систем, работающих в условиях случайных возмущений, помех, ограниченных интервалов наблюдения и сопутствующих дискретно-непрерывных преобразований сигналов. Сложности совместного анализа указанных условий преодолеваются последовательным рассмотрением следующих вопросов:

- выбор адекватного математического аппарата;
- анализ во временной области процессов дискретно-непрерывных преобразований и прямого цифрового регулирования;
- рассмотрение необходимых сведений из теории случайных процессов;
- вывод соотношений и инженерных методик для количественного описания процессов идентификации с использованием данных нормального функционирования;

- применение результатов на высоких иерархических уровнях (оптимизация, дуальное управление, управление нелинейным динамическим объектом при дрейфе).

**Выбор математического аппарата.** Для решения всего круга задач с единых методических позиций требуется выбор адекватного математического аппарата. Центральные узлы проблем образуют стохастичность воздействий [12] и ограниченная длина доступных реализаций. В одной из первых фундаментальных работ по случайным процессам в задачах автоматического регулирования [13] указано: «Для анализа линейных систем применяют операционное исчисление и гармонический анализ... Часто оказывается, что не выполняются фундаментальные гипотезы, на которых эти методы основаны». В монографии [14], посвященной дискретизации в цифровых системах управления, делается опрометчивый вывод о нестационарности таких систем. Сюда же следует отнести и некорректность попыток применения теоремы Котельникова для анализа работы систем реального времени. Соответствующий анализ, проведенный в методических разделах рассматриваемого учебного пособия [4], приводит к выводу об эффективности применения математического анализа на базе временной области, уравнения свертки и теории случайных процессов. Проблема дискретно-непрерывных преобразований решена без операторных изображений как для анализа детерминированных процессов в линейных динамических системах с цифровым регулятором, так и для стохастических процессов в системах с дискретно-непрерывными преобразованиями, с доказательством стационарности и эргодичности процессов.

**Стохастичность воздействий и ограниченная длина доступных реализаций.** Классическая статистика изначально рассматривает случайные события, вероятности и т.п. на базе теории множеств. При этом мощность такого гипотетического множества (обычно или по умолчанию) полагается бесконечной, а данные – некоррелированными. На практике вместо ансамбля независимых реализаций приходится иметь дело с единственной реализацией и ограниченной выборкой данных, которые могут быть еще и коррелированными. На значимость возникающих при этом различий неоднократно указывал В.С. Пугачев. В [4] рассмотрены и примеры парадоксальных «тупиков», и корректные решения задач, указанных в таблице 1, с получением количественных инженерных оценок погрешностей. Результаты доложены нами на конференции IEEE и опубликованы в журнале ISIC (входит в топ-20% по ImpactFactor, Web of Science). Файлы действующих демонстрационных программ, очень полезные для понимания отличий в обработке случайных величин и случайных процессов, выложены в электронное приложение к рассматриваемому учебному пособию [4].

**Тонкие моменты идентификации.** Проблемы «запасенной энергии», плохой обусловленности матриц, привлечение метода регуляризации обсуждались более полувека [15-17], но так и перешли нерешенными в современные учебники, изданные, например, авторами из ЛЭТИ и МГТУ им. Н.Э. Баумана [18, 19]. Подробная методика и разрешение этих проблем приведены в рассматриваемом учебном пособии [4].

**Развитие прикладной теории случайных процессов.** Рассматриваемое учебное пособие [4] содержит раздел с описанием количественного решения логистической задачи оценивания объемов нефтехранилища за счет доказательства адекватности привлечения закона Пуассона. Данный материал – изложение высоко оцененного доклада на международной конференции (индексирован в SCOPUS и Web of Science).

**Структура изложения материала.** Книжная часть пособия [4] посвящена теоретическим вопросам методики и построения адекватных алгоритмов информационно-управляющих систем. Помимо указанных выше результатов, рассматриваются общие вопросы обрамления системы, работа в локальных вычислительных сетях, вопросы разработки интегрированных систем и работы в реальном времени. В конце каждой главы приводятся «Выводы по главе» и «Контрольные вопросы и задания».

Приведен ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ на 226 наименований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ содержит 144 ссылки на учебники, статьи и др. (начиная с середины XX в. по настоящее время, включая публикации в Интернете).

В электронном приложении предоставлены информация по общим вопросам программирования, описание заданий для лабораторных работ, методика их организации в форме групповых мини-проектов с моделированием алгоритмов обработки сигналов динамическими объектами и файлы действующих демонстрационных программ.

## 4. Заключение

Приведенный анализ показывает, что представляемое учебное пособие отвечает современным требованиям к обучению специалистов в области программной инженерии и информационно-управляющих систем. Более того, полученные результаты в определенной мере превосходят отечественные и зарубежные достижения в рассматриваемой области.

## Список литературы

1. Специфика осуществления государственного контроля (надзора) в сфере образования // Реализация Федерального закона «Об образовании в Российской Федерации». URL: <http://273-фз.рф/publikatsii/specifikaosushchestvleniyagosudarstvennogo-kontrolya-nadzor>
2. Рекомендации по преподаванию программной инженерии и информатики в университетах. Software Engineering 2004: Curriculum Guidelines for Undergraduate Degree Programs in Software Engineering; Computing Curricula 2001: Computer Science: пер. с англ. М.: ИНТУИТ.РУ «Интернет-университет информационных технологий», 2007. 462 с.
3. Трояновский В.М. Информационно-управляющие системы и прикладная теория случайных процессов (учебное пособие). М.: Гелиос АРВ, 2004. 304 с.
4. Трояновский В.М. Программная инженерия информационно-управляющих систем в свете прикладной теории случайных процессов: учеб. пособие. М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2018. 325 с. + Доп. материалы [Электронный ресурс; Режим доступа: <http://www.znanium.com>]. — (Высш.образов.: Магистратура). — [www.dx.doi.org/10.12737/textbook\\_5ad88bf5c35cd8.81685342](http://www.dx.doi.org/10.12737/textbook_5ad88bf5c35cd8.81685342).
5. Акушкин И.Я., Трояновский В.М. Программирование на «Электронике-100» для задач АСУТП. М.: Советское радио, 1978. 296 с.
6. Липаев В.В. Программная инженерия. Методологические основы / Учебник. М.: ТЕИС, 2006. 605 с.
7. Лаврищева Е.М., Петрухин В.А. Методы и средства инженерии программного обеспечения / Учебник. М.: МФТИ, 2006. 312 с.
8. Цыпкин Я.З. Основы теории автоматических систем. М.: Наука, 1977. 560 с. (с приложениями по обычному и дискретному преобразованиям Лапласа и Фурье).
9. Katsuhiko Ogata. Modern control engineering book (5th Edition PDF by Ogata) / Zohaib Jahan October 4, 2014.
10. Norman S. Nise. Control systems engineering (Sixth Edition) / John Wiley & Sons, 2011.
11. William Navidi. Probability and Statistics for Engineers and Scientists (3rd Edition, Solution Manuals) / Clegg Books, 2015.
12. Пугачев В.С. Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления. М.: ГИТТЛ, 1957. 659 с.
13. Лэнинг Дж Х, Бэттин Р.Г. Случайные процессы в задачах автоматического регулирования / Пер. с англ. под ред. В.С. Пугачева. М.: ИЛ, 1958. 387 с.
14. Баранов Л.А. Квантование по уровню и временная дискретизация в цифровых системах управления. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.
15. Перельман И.И. Асимптотические свойства погрешности оценки импульсной характеристики // Автоматика и телемеханика. 1968. № 1. С. 189-199.
16. Цыплаков А. Введение в прогнозирование временных рядов // Квантиль. 2006. № 1. С. 3-19.
17. Эйхкофф П. Основы идентификации систем управления. М.: Мир, 1975. 680 с.

18. Алексеев А.А., Кораблев Ю.А., Шестопапов М.Ю. Идентификация и диагностика систем: учебник для высш. учеб. заведений. М.: Академия, 2009. 352 с.
19. Методы инженерного синтеза сложных систем управления: аналитический аппарат, алгоритмы, приложения в технике. / Под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. М. : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2012. Часть I. 272 с.; Часть II. 416 с.