



ЭКСПЕРТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ В ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ¹

А. С. Мандель

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, г. Москва

Исследована возможность применения экспертно-статистических методов обработки информации для решения задач управления производством и технологическими процессами в рамках действующей на предприятии интегрированной системы управления.

ВВЕДЕНИЕ

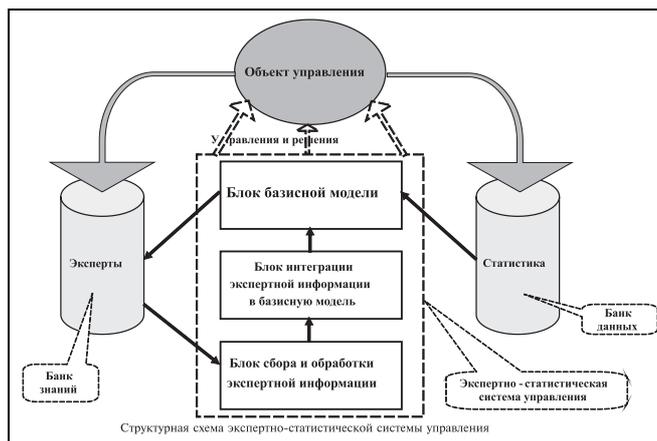
Интегрированные системы управления производством (ИСУ), охватывающие все уровни управления современным предприятием — от уровня ERP-планирования до уровня управления отдельными технологическими процессами, — находят все более широкие применения. Главное достоинство ИСУ заключается в возможности согласованного и координированного решения многочисленных управленческих проблем, при том неявном предположении, что для каждой из этих проблем наличествуют адекватные и эффективные методы их решения. При этом возникает иллюзия, что сам факт создания и внедрения ИСУ на современном промышленном предприятии является определяющим фактором триумфального успеха всей его последующей деятельности. Однако опыт автора настоящей статьи свидетельствует о том, что инструмент глобальной интеграции всех процессов управления предприятием — от проблем стратегического планирования до вопросов управления отдельными технологическими процессами — отнюдь не становится панацеей от вполне вероятных и, порою, весьма серьезных провалов, в том числе и стратегических. Особенно в тех случаях, когда для решаемых в рамках ИСУ отдельных («частных») управленческих задач отсутствуют адекватные практике способы их точной формализации (идентификации).

В качестве важнейших причин отсутствия достаточно точных математических моделей тех или иных процессов управления современным предприятием назовем: (а) чрезмерную сложность формальных описаний,

которая в процессе поиска оптимальных, робастных или, попросту, рациональных управленческих решений заставляет прибегать к их неоправданному (в смысле адекватности идентифицируемой модели) упрощению; (б) отсутствие возможности единовременного и интегрированного использования при идентификации моделей таких разнородных источников информации, как результаты объективных измерений параметров и характеристик управляемых процессов и мнения, высказываемые опытными экспертами-управленцами; (в) наличие резких и плохо предсказуемых возмущений (прежде всего, во внешней среде — например, на рынке), которые могут кардинально изменить ситуацию и потребовать отказа от ранее разработанных математических описаний в пользу новых моделей, более адекватных вновь возникшей ситуации, и (г) возможную неполноту имеющейся объективной информации, частичную наблюдаемость или даже полную ненаблюдаемость важнейших характеристических переменных, а в результате нехватку доступных для регистрации массивов данных для построения статистически достоверных моделей управляемых процессов.

Первая из указанных ранее причин особенно характерна при решении проблем управления сложнейшими многосвязными технологическими процессами в таких отраслях, как нефтепереработка, нефтехимия [1] и ряд других. Наличие второго источника возможных проблем отмечается во множестве случаев, относящихся, прежде всего, к вопросам, связанным с управлением на верхнем уровне АСУТП и на высших уровнях ИСУ во многих отраслях. Третий из названных источников неприятностей чаще всего проявляется тогда, когда речь идет о взаимодействии предприятия через отделы сбыта и маркетинга с внешним рынком ими при возникновении аварийных ситуаций. Наконец, четвертая причина нередко связана со спецификой решаемых управленческих про-

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект № 06-08-00415-а.



Структурная схема экспертно-статистической системы управления

блем (например, когда речь идет об организации производства принципиально новых видов продукции).

В середине 1990-х гг. в целях преодоления проблем, связанных с причинами, помеченными литерами (б) и (г), автором был предложен инструмент интеграции разнородной информации в рамках единой системы управления, который получил название экспертно-статистических методов обработки информации [2, 3], т. е. основным объектом применения нового инструмента стали социально-экономические системы и организационные системы управления. В настоящей статье делается попытка распространить действие экспертно-статистического подхода на ИСУ, включая уровень АСУТП.

1. ЭКСПЕРТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОБРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИИ

Структурная схема экспертно-статистической системы (ЭСС) управления представлена на рисунке. Собственно ЭСС управления состоит из блока базисной модели, блока сбора и обработки экспертной информации и блока интеграции экспертной информации в базисную модель.

Многочисленные примеры ЭСС для решения различных задач организационного управления, управления запасами и маркетинга можно найти в работах [2–4]. Наибольший интерес представляет блок интеграции экспертной информации в базисную модель. Именно структура и алгоритмическое наполнение этого блока определяет возможность успешного решения соответствующей задачи управления. Далее мы рассмотрим устройство данного блока применительно к задаче идентификации и управления технологическими процессами.

2. БЛОК ИНТЕГРАЦИИ ЭКСПЕРТНОЙ ИНФОРМАЦИИ В БАЗИСНУЮ МОДЕЛЬ В ЗАДАЧАХ АСУТП

Блок интеграции в блок базисной модели представляет собой совокупность процедур (методик проведения интервью, опросов, анкетирования и пр.) извлечения экспертных знаний и формируемой в результате соответствующих процедур извлечения (сбора) знаний не-

которой разновидности экспертной системы. Однако в большинстве случаев, в отличие от обычных систем, работающих со знаниями, экспертные системы, которые входят в состав ЭСС, как правило, гораздо проще. Дело в том, что ЭСС обычно разрабатываются для объектов управления в тех случаях, когда имеется достаточно высокая степень уверенности в том, что та априорная и апостериорная информация, которой располагают разработчики и заказчики, по поводу способов функционирования и характеристик подобных систем достаточно для формирования «почти» полной модели описываемой системы. Критерием такой «почти достаточности» объективных данных (вполне возможно и иллюзорной) является малость остаточной дисперсии для предварительной «эскизной» модели системы, которая формируется на этапе предварительного обследования по априорным данным. Приведенную логику переформулируем в виде следующего утверждения, достоверность которого неоднократно подтверждена практикой внедрения ЭСС.

Утверждение 1. *Априорные данные, пополненные, быть может, той информацией, которая поступит в интервале от момента окончания предварительного обследования до момента создания эскизной модели, образуют обучающую выборку. Если остаточная дисперсия (или какая-либо другая аналогичная характеристика качества модели) окажется на этой обучающей выборке мала, то искомого качества управления можно будет достичь на пути создания ЭСС.*

К сожалению, многочисленные попытки теоретически получить точные оценки уровня остаточной дисперсии или аналогичных ей характеристик, которые позволяли бы строго подтвердить, что мы находимся в области применения экспертно-статистического подхода, оказались — и не случайно! — безуспешными. Очевидно только, что при малых значениях остаточной дисперсии можно, скорее всего, говорить о выборе между классическими методами статистической идентификации и экспертно-статистическими методами. При этом с дальнейшим увеличением остаточной дисперсии следует определиться с границей, отделяющей экспертно-статистический подход от чисто экспертных методов, которые, в конце концов, приводят к созданию экспертных систем.

Условность любых «строгих» выводов обусловлена тем, что даже при малых значениях остаточной дисперсии (полученных на обучающей выборке!) нет никаких гарантий, что лицо, принимающее решения (ЛПР), примет рекомендации, полученные по идентифицированной модели, к исполнению. За подобным отказом может скрываться как ошибка или нерешительность ЛПР, так и его уверенность в том, что обучающая выборка не является статистически представительной (не содержит информации обо всех «режимах» функционирования описываемого объекта).

Яркой иллюстрацией к этим рассуждениям служит картина, которая наблюдается при автоматизации сложных технологических процессов в таких областях, как химия, нефтехимия, нефтепереработка и многие другие (см., например, работы [5–7]). В этом случае классические, успешные попытки автоматизации и предшествующие им этапы идентификации сводятся к применению двух основных подходов.



Первый из них заключается в формировании комплекса сложных нелинейных статических моделей, которые строятся методами кусочной аппроксимации [6, 7]. Этот подход позволяет без труда промоделировать многорежимные объекты, однако ни в малейшей степени не отображает их динамики.

Второй подход (который применяется, в частности, и для создания тренажеров [5]) опирается на описание технологического процесса с помощью совокупности локальных физико-химических моделей с последующим объединением их в глобальную модель с учетом геометрии и физико-механических свойств соединяющих локальные процессы транспортных устройств. Данный подход, по сравнению с первым, кажется поначалу более адекватным реальному процессу, однако гораздо хуже справляется с многорежимностью. В целях повышения его адекватности проводятся эксперименты по моделированию рассматриваемого технологического процесса с последующим предъявлением результатов моделирования экспертам-технологам. Изучив результаты моделирования, технологи формулируют свои замечания, сообщая, как по их мнению, должен был вести себя процесс в предъявленных ситуациях. Их пожелания отображаются в некую разновидность экспертной системы, которая подменяет созданный комплекс физико-химических и физико-механических моделей в отмеченных экспертами-технологами критических ситуациях.

В качестве альтернативы (или дополнения) к рассматриваемым подходам можно воспользоваться экспертно-статистическим подходом, очертив, хотя бы качественно, границы его применимости. По опыту автора, границы применимости разных подходов можно охарактеризовать значениями отношения χ корня квадратного из остаточной дисперсии к математическому ожиданию наблюдаемых выходных переменных, которые приведены в таблице. Взаимное наложение областей, указанных в таблице, подтверждает высказанную ранее мысль о том, что возможность построения точных дискриминантных границ достаточно условна. Правда, из таблицы следует вывод, что в интервале $20\% \leq \chi \leq 30\%$ можно достаточно уверенно говорить о целесообразности применения именно экспертно-статистического подхода.

К тезису, содержащемуся в утверждении 1, непосредственно примыкает и еще один вывод относительно ЭСС, который составляет суть следующего утверждения.

Утверждение 2. Системы экспертно-статистической обработки дополняют традиционные системы управления и экспертные системы и отличаются от последних тем, что дешевле и проще (в части применения методологии искусственного интеллекта), так как не требуют специально организованных процедур извлечения знаний и формирования слишком сложных правил вывода.

Границы (нечеткие) применимости различных подходов

Тип подхода	Статистическая идентификация	Экспертно-статистические методы	Чисто экспертные методы
χ , %	Менее 20	10—60	Более 30

3. ERP-ПЛАНИРОВАНИЕ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Успешность функционирования предприятия, охваченного действием ИСУ, в значительной степени определяется рациональностью выбранной им маркетинговой политики. Суть этой политики прежде всего связана с тщательным изучением и попытками воздействия на потребительские предпочтения, формирующие, в конечном счете, рыночный спрос. Обычной технологией решения задач оценки спроса на отдельные виды традиционных и впервые производимых товаров является построение сетевой модели формирования спроса (товаропроводящей сети), состоящей из собственно рынка, на котором реализуется товар, предприятий, осуществляющих выпуск этого товара и предприятий-поставщиков полуфабрикатов, используемых при изготовлении товара. На рынке нефти и нефтепродуктов в качестве первых выступают нефтеперерабатывающие заводы, а в качестве вторых — предприятия нефтедобычи и транспортная сеть.

В конечном счете, решением задачи прогнозирования спроса является установление пропорций (рыночных долей), в которых рынок распределяется между разными производителями, абсолютных значений спроса на товар и их поведения во времени.

Для аппроксимации поведения спроса на продукцию конкретных производителей во времени предлагается аппарат так называемых S -кривых (символом S отображается основная форма кривой). В частности, такая S -кривая может быть найдена как решение следующего дифференциального уравнения:

$$\frac{dz}{dt} = l(1 - z(t)/p)[z(t)/p]^{-1},$$

где $z(t)$ — уровень спроса в момент времени t , p — доля продукции данного производителя в установившемся режиме, l — постоянная времени.

Решение этого уравнения при $t \rightarrow \infty$ хорошо аппроксимируется следующей функцией

$$z(t) \approx p(1 + be^{-lt}). \quad (1)$$

При наличии многих производителей соответствующие переменные $x(t)$ должны быть снабжены индексом производителя (или вида товара) i .

Чтобы оценить параметры S -кривых в условиях неполной информации о состоянии рынка воспользуемся схемой экспертно-статистической обработки на базе метода анализа иерархий (МАИ) [8]. Однако, прежде чем сделать это, рассмотрим еще один более наглядный подход к задаче оценки спроса на товарном рынке. Проиллюстрируем подход на примере рынка персональных компьютеров (ПК). В этом случае в товаропроводящей сети можно выделить собственно рынок (потребителей), изготовителей ПК, изготовителей комплектующих узлов (микросхем) и системного программного обеспечения.

Тогда уравнение материального баланса в вершине i сети будет иметь вид:

$$\sum_{j_1} z_{i,j_1} + z_{\text{экспорт}} = \sum_{j_2} z_{j_2,i} + z_{\text{экспорт}}, \quad (2)$$

где z_{i,j_1} — объем продажи потребителю j_1 в вершине i , $z_{j_2,i}$ — объем поставок в вершину i от поставщика j_2 , а

$z_{\text{экспорт}}$ и $z_{\text{импорт}}$ — объемы экспорта и импорта в вершине i , соответственно.

Тогда задача прогнозирования рынка ПК может быть поставлена как следующая задача оптимизации: найти

$$\min_t \left\{ z_j(t) - \sum_i f_i(z_{ij}(t)) \right\} \quad (3)$$

при условиях (2) и выполнении ограничений вида

$$b_i < f_i(z_{si}) < d_i, \quad (4)$$

где f_i — производственная функция поставщика i , работающего на удовлетворение спроса потребителя j ; параметры b_i и d_i определяют максимальную и минимальную производительности, соответственно; t — время; s — номер поставщика комплектующих узлов. В любой момент времени, конечно, должно выполняться условие $f_i(z_{ij}) < c_{ij}$, где c_{ij} — предельный уровень спроса, который связан с производственной функцией соотношением типа формулы (1):

$$f_i(z_{ij}(t)) = c_{ij}(1 + b_{ij}e^{-a_{ij}t}).$$

Теперь можно вернуться к МАИ. В его рамках задача преобразуется в некоторую иерархическую структуру, на каждом уровне которой находится нескольких элементов. Каждый из этих элементов в свою очередь (на следующем уровне) также представляется некоторой совокупностью элементов. Каждому элементу любого уровня приписывается сравнительный уровень значимости, например, от 1 до 9, где «единицей» обозначается равнозначность элементов, а «девяткой» — абсолютная степень превосходства. При этом два элемента одного уровня сравниваются с соответствующим элементом более высокого уровня. Результаты сравнения после обработки заносятся в квадратную матрицу, размер которой равен числу элементов данного уровня. Способ обработки выбирается так, чтобы получилась матрица, обратная матрице значений относительных коэффициентов значимости. Нормированное значение доминантного собственного вектора этой матрицы определяет относительную значимость элементов по сравнению с вышестоящим элементом.

Если применить МАИ к прогнозированию спроса на рынке, то, используя в качестве основы создания оценочной иерархии модель товаропроводящей сети (2)–(4), необходимо сформировать МАИ для соответствующей сетевой схемы [9]. Применительно к рынку персональных компьютеров на одном из уровней МАИ могут быть размещены такие характеристики, как производственно-технологические особенности, «дружественный» интерфейс, внешняя привлекательность, цена и прочее (уровень требований). На альтернативном уровне МАИ могут быть представлены такие характеристики, как оценки конкурентоспособности фирм-производителей, политика ценообразования, технология использования. В результате введения этих уровней и соответствующей параметризации формируется набор весовых коэффициентов, которые характеризуют относительные уровни значимости и могут быть получены посредством опроса экспертов. Найденные значения параметров непосредственно связываются со значениями параметров S -кривой.

Предложенная процедура формирования оценок параметров S -кривой чисто экспертная. Одновременно можно осуществить обработку ретроспективных данных

о спросе, на основе которой будут сформированы «объективные» (или более объективные) оценки уровня насыщения p (в установившемся режиме) и постоянной времени l . Эти оценки могут быть предъявлены экспертам и стать для них дополнительным источником информации, используя который эксперты могут «объективизировать» высказываемую ими точку зрения.

Так, например, допустим, что поведение цен свидетельствует о том, что в настоящее время на рынке имеет место равновесие. Используя этот факт, можно сформировать алгоритм оценки функции спроса вида [10]:

$$\hat{x}_{t+1} = x_t - g_t(\hat{p}_t - p_0),$$

где \hat{x}_{t+1} — оценка спроса на $(t+1)$ -м шаге, x_t — спрос на t -м шаге, $\{g_t\}$ — последовательность коэффициентов, удовлетворяющих известным условиям на коэффициенты алгоритмов метода стохастической аппроксимации, \hat{p}_t — оценка степени удовлетворения спроса на t -м шаге (в данном случае совпадает с фактической рыночной долей), а p_0 — заданное значение (в данном случае совпадает с желаемой рыночной долей).

В этом случае эксперту могут предъявляться для корректировки значения \hat{p}_t и значения \hat{x}_{t+1} . Последние используются для корректировки значений коэффициентов g_t .

4. УПРАВЛЕНИЕ РЕСУРСАМИ ДЛЯ РАБОТЫ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

СOLIDНАЯ часть предъявляемого на рынке спроса обусловлена запросами на ресурсы, которые формируются в силу хозяйственной или каких-либо других форм деятельности предприятий, действующих на рынке в роли потребителей. Поэтому изучению механизмов выбора структуры ресурсов придавалось весьма большое значение. В соответствии с указанными в § 2 границами применимости экспертно-статистического подхода ниже рассматривается случай решения проблемы выбора структуры ресурсов в условиях достаточно высокой степени неопределенности исходных характеристик.

Именно такие задачи распределения ресурсов возникают, в частности, при планировании деятельности подразделений, направляемых для работы в редко возникающих ситуациях, например, чрезвычайных или аварийных [11].

Вероятные варианты аварийных ситуаций классифицированы по типам, поэтому рассмотрение ведется в рамках некоторого фиксированного типа (класса) аварийных ситуаций, преодоление которых требует наличия некоторого набора ресурсов, характеризуемого вектором $(x_1, x_2, \dots, x_k)^T$. Здесь компоненты вектора ресурсов могут представлять собой численности групп специалистов, состав парка транспортных средств, интенсивность материальных и финансовых потоков и т. п.

Предполагается, что время возникновения, глубина и время преодоления последствий аварийных ситуаций случайны, при этом соответствующие случайные величины обладают неизвестными априори вероятностными характеристиками. Иначе говоря, считается, что неизвестны следующие функции распределения (ф. р.): $F_n(\theta_n)$ — ф. р. интервала (θ_n от момента преодоления последствий n -й аварийной ситуации до возникновения



$(n + 1)$ -й аварийной ситуации, $G_n(\tau_n)$ — ф. р. времени τ_n преодоления последствий n -й аварийной ситуации и $H_n(\mathbf{u}_n)$ — ф. р. «глубины» n -й аварийной ситуации, характеризующейся запросом на вектор ресурсов \mathbf{u}_n , который связан с самим фактом возникновения n -й аварийной ситуации при условии выбора «оптимального» плана преодоления ее последствий («оптимальность» завышена, поскольку в условиях неопределенности оценка оптимальности может быть лишь субъективной, поэтому фактически следует говорить не об оптимальности, а о профессиональном, грамотном планировании работ по преодолению последствий аварийной ситуации).

Заданы следующие компоненты затрат: $A(\mathbf{u}_n)$ — одновременные потери от возникновения n -й аварийной ситуации; $B_\tau(\mathbf{x} - \mathbf{u}_n)$ — интенсивность затрат на преодоление последствий n -й аварийной ситуации в момент времени $\tau \in [0, \tau_n]$; $C_\theta(\mathbf{x})$ — интенсивность затрат на поддержание уровня ресурса \mathbf{x} в момент времени $\theta \in [\theta_n + \tau_n, \theta_{n+1})$.

Нетрудно показать, что возникновение каждой аварийной ситуации, принадлежащей к рассматриваемому классу, может быть использовано для последовательного уточнения оценок необходимого вектора ресурсов \mathbf{x} . А именно, оценка вектора ресурсов, который необходимо иметь после преодоления последствий n -й аварийной ситуации, может быть представлена в виде:

$$\hat{\mathbf{x}}_{n+1} = \mathbf{x}_n - \Gamma_n \left[\int_0^{\tau_n} \text{grad}_{\mathbf{x}_n} B_\tau(\mathbf{x}_n - \mathbf{u}_n) d\tau + \int_{\theta_{n-1} + \tau_{n-1}}^{\theta_n} \text{grad}_{\mathbf{x}_n} C_\theta(\mathbf{x}_n) d\theta \right], \quad (5)$$

где через Γ_n обозначена матрица коэффициентов, удовлетворяющих известным условиям на коэффициенты алгоритмов стохастической аппроксимации, а $\text{grad}_{\mathbf{x}_n} G(\mathbf{z})$ — градиент функции $G(\mathbf{x}_n)$ в точке $\mathbf{x}_n = \mathbf{z}$.

Выбор начальных условий и значений коэффициентов в алгоритме (5) должен осуществляться с учетом требования обеспечения достаточно высокой скорости сходимости (акселерации) алгоритма к некоторой окрестности на конечном интервале значений n .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 1990-х гг. для решения некоторых задач исследования операций был предложен экспертно-статистический подход к обработке информации, суть которого заключалась в том, чтобы в процессе идентификации модели, предназначенной для синтеза системы принятия решений (например, при управлении материально-техническим снабжением) воспользоваться «на равных» информацией объективного (результатами измерений) и субъективного (экспертными оценками) происхождения. В настоящей работе сделана первая попытка распространить идеологию экспертно-статистического подхода на решение различных задач управления в рамках глобальной структуры интегрированной системы управления современным промышленным предприятием.

Очерчены границы применимости классического (названного в настоящей работе статистическим), экс-

пертно-статистического и чисто экспертного подходов к решению проблем АСУТП и ERP-планирования. Эти границы нечеткие, они размыты. Однако при некоторых вариантах исходных данных — см. таблицу в § 2 — экспертно-статистические системы оказываются для разработчиков наиболее предпочтительным вариантом (в качестве альтернативы подходам, основанным на статистических методах идентификации и методах построения комплексов взаимодействующих локальных физико-химических и физико-механических моделей).

Применительно к задачам ERP-планирования также возможно применение экспертно-статистических методов обработки информации в сочетании с такими методами экспертного оценивания, как, например, метод анализа иерархий Т. Саати.

Важным компонентом экспертно-статистических систем являются адаптивные и робастные схемы управления. Они, нередко, составляют алгоритмическую основу, используемую не только для уточнения статистических параметров базовой модели, но и являющуюся инструментом интеграции в эту модель оценок, полученных чисто экспертными методами. Иллюстрацией этой идеи служит описанная в статье (см. § 4) алгоритмическая модель, которая предназначена для решения проблемы планирования оптимальных ресурсов на случай возникновения на предприятии аварийных ситуаций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соркин Л. П. Современные технологии управления в нефтегазовом комплексе. — М.: МФТИ, 2003. — 104 с.
2. Мандель А. С. Экспертно-статистические системы в задачах управления и обработки информации. Часть I // Приборы и системы управления. — 1996. — № 12. — С. 34–36.
3. Мандель А. С. Экспертно-статистические системы в задачах управления и обработки информации. Часть II // Там же. — 1997. — № 2. — С. 11–13.
4. Беляков А. Г., Мандель А. С. Прогнозирование временных рядов на основе метода аналогов (элементы теории экспертно-статистических систем). — М.: ИПУ РАН, 2002. — 60 с.
5. Дозорцев В. М., Кнеллер Д. В. Типовой тренажерный комплекс для обучения операторов ТП // Автоматизация в промышленности. — 2003. — №2. — С. 9–14.
6. Дорофеев А. А., Касавин А. Д., Торговицкий И. Ш. Контроль качества и восстановление характеристик объектов, работающих в нескольких режимах // В кн.: «Доклады II Всесоюзного совещания по статистическим проблемам теории управления. Идентификация». — М.: Наука, 1970. — С. 181–182.
7. Касавин А. Д. Адаптивные алгоритмы кусочной аппроксимации в задаче идентификации // Автоматика и телемеханика. — 1972. — № 12.
8. Саати Т. Метод анализа иерархий. — М.: Сов. Радио, 1992.
9. Мандель А. С. Экспертно-статистические системы и метод анализа иерархий // В кн. Управление большими системами. Материалы Междунар. научн.-практ. конф. — М.: СИНТЕГ, 1997.
10. Лотоцкий В. А., Мандель А. С. Адаптивное управление запасами // Тез. докл. 10-го Всесоюзного совещания по проблемам управления. — М., 1986.
11. Мандель А. С. Экспертно-статистический подход к решению задачи оперативного управления работами по преодолению последствий ЧС // Проблемы управления в чрезвычайных ситуациях: Тез. докл. Четвертой междунар. конф. — М., 1997. — С. 65.

☎ (495) 334-89-69;
e-mail: manfoon@ipu.ru

