

УДК 002.6:681.06:638.253.231

И.А. Скатков, канд. техн. наук, доцент

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская 33, г. Севастополь, Украина, 99053

ВЕКТОРНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ОПЕРАТОРСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СИСТЕМАХ КРИТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Обсуждаются перспективные направления применения методов векторной оптимизации в совершенствовании операторской деятельности в объектах критического применения. Предложена концепция разработки специализированной АСУ операторской деятельности. Рассмотрена схема планирования и решения задач анализа операторской деятельности для различных режимов работы АСУ на основе методов уступок и минимизации отклонения от идеальной точки.

Ключевые слова: операторская деятельность, векторная оптимизация, планирование тренажерного времени.

Современный этап развития сложных систем характеризуется активным использованием электронных средств, цифровой техники, информационных технологий, которые в настоящее время широко применяются и в объектах критического применения (ОКП). К числу ОКП принято относить большинство систем энерго газоснабжения, объекты атомной энергетики, системы медицинского обслуживания и жизнеобеспечения. К числу основных преимуществ ОКП, использующих встроенные системы цифровой и информационной техники, относятся:

- высокая производительность выполнения вычислений, благодаря чему появляется возможность эффективно решать задачи, связанных с функционированием сложных функций управления;
- высокая надежность компьютерных компонентов в сочетании с высокой степенью их интеграции;
- высокий уровень гибкости, обеспечиваемый своевременной модификацией программных средств без замены технических компонентов;
- возможностью широкого использования режимов самодиагностики и реконфигурации.

Актуальность исследования особенностей функционирования таких систем обусловлена, во-первых, специальными требованиями к их устойчивому функционированию, во-вторых, тем обстоятельством, что в таких системах существенным элементом по-прежнему является человек, который либо наделен функциями лица, принимающего решения (ЛПР), либо оператора, деятельность которого четко регламентирована условиями его функционирования в составе ОКП. Нередки случаи, когда деятельность человека в условия ОКП совмещается либо во времени, либо по функциям, как с деятельностью ЛПР, так и с деятельностью оператора.

Существенной особенностью АСУ ОКП являются, в частности, особые требования к процессам подготовки и ввода в них данных. Здесь возникают особые качественно новые требования к достоверности и своевременности вводимой в системы информации. Многие из этих задач являются фрагментарно проработанными в соответствии с известными целевыми установками. Переход к интегральным критериям качества подготовки данных приводит к необходимости преодоления целого ряда конфликтных ситуаций. Для разработки математических моделей поддержки процессов принятия решений в подобных задачах необходимо выполнить на основе использования принципов системного подхода и программно-целевого анализа.

Целью данной работы является предлагаемый далее подход к проектированию и внедрению специальных автоматизированных систем нового класса и направления [2,3]. Их основной функцией должна являться целенаправленная совокупность организационно-технических мероприятий по диагностике, распознаванию состояний, тренировкам и обучению, прогнозированию и контролю операторской деятельности в АСУ ОКП различного назначения и применения, планирование которых следует осуществлять на основе оптимальных векторных решений. Далее такие системы будем называть АСУ операторской деятельностью (АСУОД).

Структурно такая АСУОД может быть реализована либо как автономная система, либо находиться в составе ОКП, либо быть комбинированной. На рисунке 1 изображена схема совместного функционирования ОКП и АСУОД для случая, когда последняя является автономной системой. На рисунке указаны основные функциональные задачи и взаимодействие информационных потоков и управляющих воздействий.

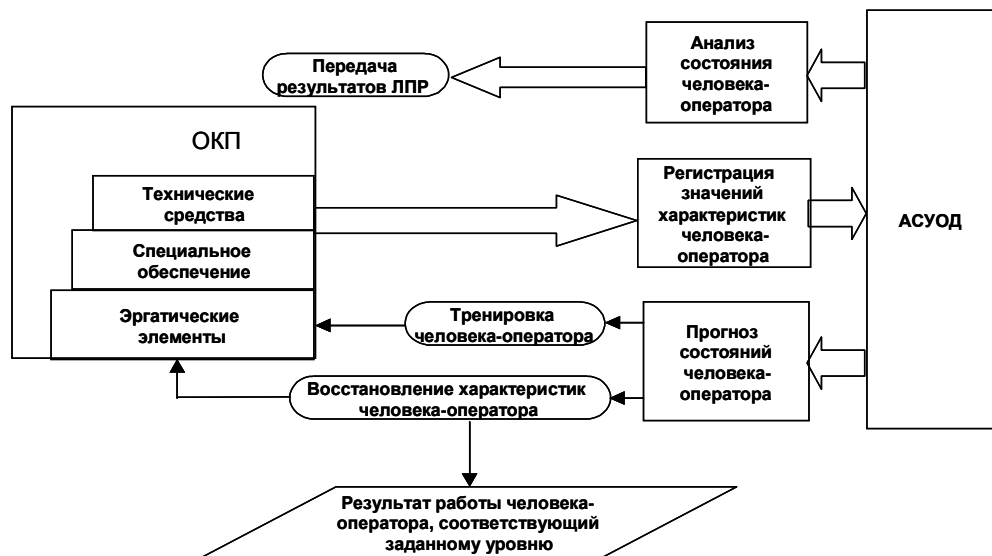


Рисунок 1 – Принципиальная схема совместного функционирования ОКП и АСУОД

На рисунке 2 показан пример регламента исполнения основных функций АСУОД во времени и указаны причинно-следственные связи исполнения различных функциональных задач во временной последовательности.

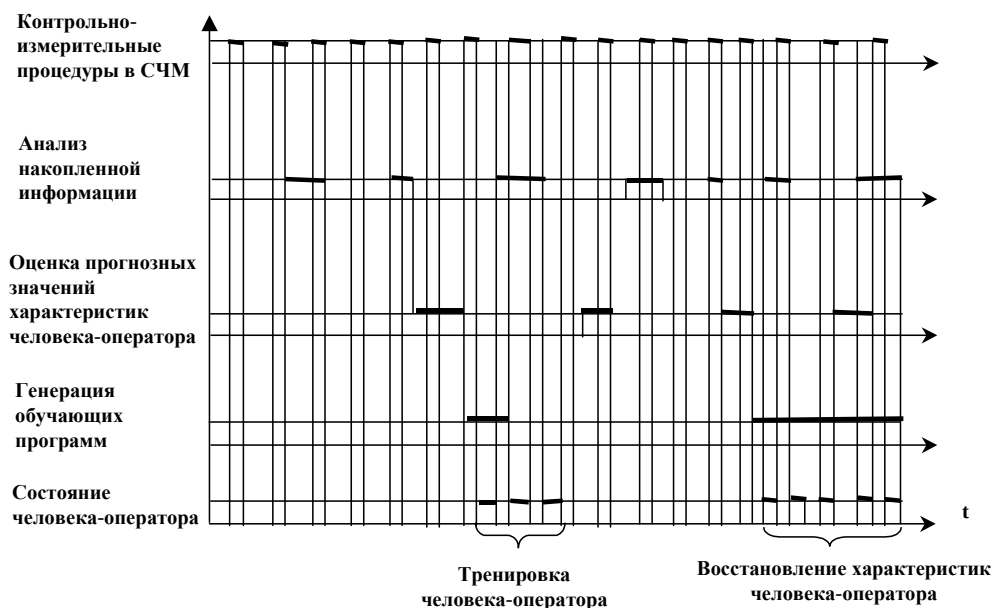


Рисунок 2 – Временная диаграмма работы основных компонентов АСУОД

В общем случае АСУОД должна являться многоконтурной системой и использовать различные классы моделей организации процедур анализа, контроля, прогнозирования и обучения операторской деятельности. Для выделенных контуров предлагаем ввести следующее разграничение функций:

основная функциональная задача 1-го контура АСУОД – сбор статистических данных для анализа результатов деятельности человека-оператора и их обработка;

второго контура – построение и анализ экспертных оценок и моделей, планирование, реализация и обработка специальных экспериментов;

третьего контура – параметрическое обучение и прогнозирование характеристик качества функционирования человека-оператора;

четвертого контура – анализ результатов прогнозирования и структурно-логическая оптимизация обучения и восстановления характеристик качества человека-оператора.

Во времени решения задач в различных контурах могут частично совмещаться (особенно задачи соседних контуров), а в обеспечении решения задач 2–4-го контуров необходимо участие первого контура (см. рисунок 3).

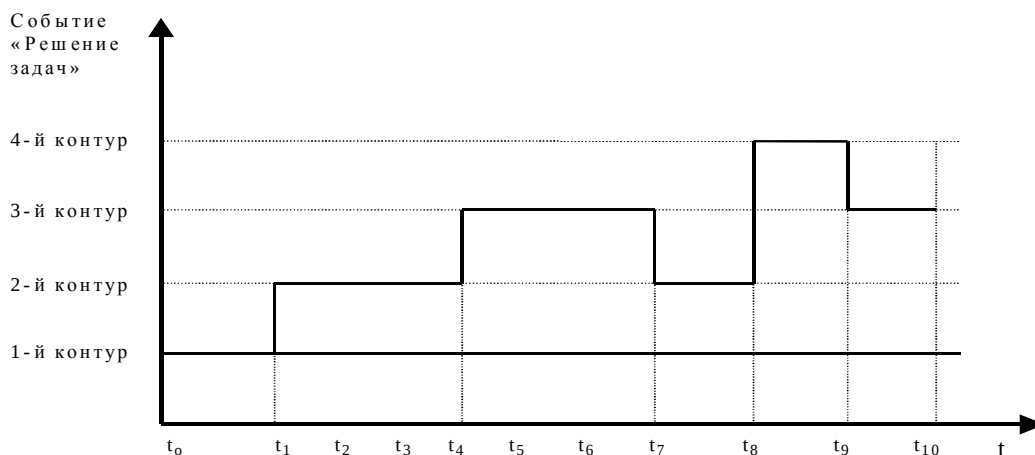


Рисунок 3 – Временные эпюры решения задач различных контуров АСУОД

Продолжительность решения задач в каждом из контуров определяется сложностью функций конкретного оператора в данной ОКП, его индивидуальными характеристиками и принятой долговременной стратегией использования АСУОД.

Общая схема планирования заданий в АСУОД изображена на рисунке 4.

Схема – многоциклическая, с проверкой различных условий. Важная роль в ней принадлежит ЛПР. В качестве ЛПР может выступать системный аналитик – специалист по использованию АСУОД. Механизм планирования состоит в представлении конкретных задач в терминах АСУОД и ее основных элементов. Такое представление во многом облегчается использованием специализированного языка интерфейсов (СЯИ), операторы которого служат для реализации связи АСУОД. Язык СЯИ, является языком событийного типа, что обеспечивает исполнение планирования заданий в многозадачной и многоконтурной среде.

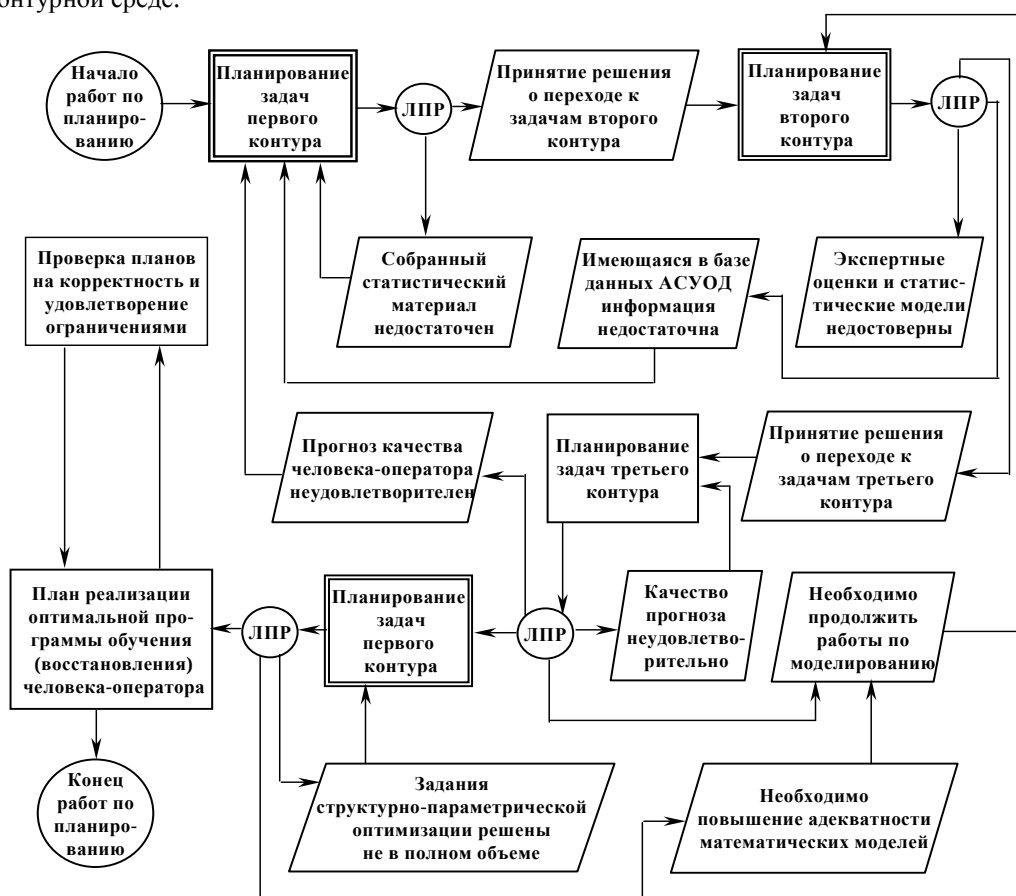


Рисунок 4 – Схема планирования заданий в АСУОД

Проведем анализ основной схемы планирования заданий. Первые два контура в основном обеспечивают сбор и обработку экспериментальных данных, а также построение экспертных моделей и корреляционно-регрессионных уравнений (в том числе и полученные методами активного планирования эксперимента). ЛПП в этих контурах принимает решение о проведении циклических работ в каждом контуре и целесообразности переходов с контура на контур. Здесь процессы принятия решений относительно проще, чем на старших – третьем и четвертом контурах. Это обуславливается возможностью использования четких и математически строго обоснованных критериев проверки различных гипотез. Прежде всего, – это распознающие правила математической статистики (критерии Фишера, Колмогорова, Пирсона и др.).

Задачи третьего и четвертого контуров гораздо слабее формализованы, и здесь требования к квалификации ЛПП значительно выше. Многие из задач этих контуров полуопределены, имеют много "степеней свободы". В этих условиях может быть максимально использована творческая деятельность ЛПП.

Состав задач, характерных для каждого контура может существенно отличаться в зависимости от первоначальной подготовленности оператора и его способности к обучению. Поэтому актуальной является задача формирования различных групп операторов, которую можно решить, например, путем экспертной классификации. Качественные свойства операторов по исполнению ими специальных функций в составе АСУ ОКП нарастают по мере перехода от группы к группе.

Для операторов первой группы характерно следующее:

- более продолжительное использование первых двух контуров;
- принятие решений у ЛПП является относительно быстрым;
- часты возвраты со второго контура на первый;
- процесс планирования практически ограничивается первыми двумя контурами.
- При планировании для операторов второй группы имеет место ситуация:
- большую часть времени отнимают задачи второго контура;
- замедлилась скорость принятия решений ЛПП;
- возвраты на первый контур практически отсутствуют;
- задачи четвертого контура почти не планировались.

Обслуживание операторов третьей группы позволяет констатировать такие факторы:

- наиболее часто используются задачи второго и третьего контуров;
- еще более увеличилось время, необходимое ЛПП на принятие решений;
- относительно редки задачи четвертого контура.

Как следует из схемы на рисунке 4, планирование в АСУОД является многоэтапным процессом принятия решений, где действия ЛПП разделены на четкие логические секции: в первом контуре – это двухальтернативная процедура, во втором – трех, а в третьем и в четвертом – четырехальтернативная процедура. Однако сам процесс планирования не является однородным. В этой связи разделим его на три этапа: стационарное планирование; оперативное планирование; перспективное планирование.

Стационарное планирование направлено на решение задач внутри данного контура. Оперативное планирование связано с переходом между контурами. Перспективное планирование – это выбор стратегий при обучении, контроле, восстановлении оператора, правил принятия решений, построение критериев качества его функционирования. АСУОД может использоваться в трех основных: режимах: при контроле качества функционирования оператора, его обучении и, наконец, восстановлении утраченных свойств (необходимого быстродействия, уровня вероятности успешной работы, точности исполнения команд и т.д.). Логика работ с использованием АСУОД указывает на целесообразность построения цепочек смены режимов (α – отрезок времени, где осуществляется контроль функций оператора; β – отрезок времени, где обеспечивается обучение; γ – время, отводимое на восстановление функциональных характеристик оператора; δ – время, когда оператор участвует в функционировании ОКП и нет необходимости привлечения средств АСУОД).

Приведем описание типовых цепочек смены режимов работы АСУОД в зависимости от функционального состояния оператора. Каждая такая цепочка может трактоваться как логическая последовательность изменений определенных состояний основных структурных элементов АСУОД, с одной стороны, и с другой – оператора в системе, т.е. рассматривается процесс функционирования АСУОД, протекаемый во времени. Для получения формального описания переходов АСУОД из одних режимов функционирования в другие выделим следующие ее состояния.

Состояние S_α контроля функциональных характеристик оператора, проводимого с использованием средств АСУОД. В этом состоянии система находится некоторое время α . Обозначим через S_β состояние обучения и тренировки оператора для последующей его работы, в котором система находится время β . Положим также, что состоянию S_γ соответствует реализация режима восстановления

функциональных характеристик оператора. Наконец, обозначим через S_8 состояние, при котором уровень значений функциональных: характеристик оператора соответствует требуемому, и оператор участвует в работе ОКП. В этом режиме функции АСУОД ограничены проведением контрольных операций.

Предлагаемые выше процедуры и схемы функционирования АСУОД выполнены в рамках системного подхода с приоритетом цели над функциями и функций над структурой. АСУОД является открытой развивающейся системой, многие особенности которой, безусловно, необходимо уточнять и конкретизировать с учетом имеющихся ресурсов и специальных задач, решаемых в ОКП.

Рассмотрим некоторые задачи векторной оптимизации, возникающие при планировании тренажерного времени при решении задач обучения операторской деятельности для АСУ. Постановка задачи состоит в следующем. Известны две целевые функции, одна из которых описывает вероятность успешной работы оператора после обучения, вторая описывает вероятность потери обучаемой информации после некоторого времени, связанная с забыванием. Обучение операторов может быть организовано по различным программам с использованием различающихся режимом тренажеров. Основная операционная единица, подлежащая определению – отрезок времени t_{ij} – время обучения оператора по i -ой программе при j -ом режиме тренажера. Доступный ресурс времени на использование тренажера ограничен величинами Q_j , $j = \overline{1, n}$. Фонд учебного времени для каждой обучающей программы директивно ограничен величинами R_i , $i = \overline{1, k}$. Эффективность использований различных программ обучения в заданных режимах тренажера может быть найдена статистическими методами путем обработки соответствующих результатов обучения операторов, принадлежащих к одной из однородных групп. Мерой эффективности являются элементы матрицы $A - \alpha_{ij}$, $i = \overline{1, k}$, $j = \overline{1, n}$, имеющие смысл положительного приращения вероятности успешной работы оператора по выполнению совокупности обучающих заданий. Аналогично вводится матрица B , элементы β_{ij} которой характеризуют приращение уровня «забывания» обучающей информации при использовании j -го режима тренажера по i -ой программе обучения. С использованием введенных обозначений может быть предложена следующая векторная задача оптимизации по выбору плана обучения, задаваемого матрицей с элементами t_{ij} .

Необходимо найти экстремумы целевых функций

$$E = \sum_i \sum_j \alpha_{ij} t_{ij} \rightarrow \max$$

$$F = \sum_i \sum_j \beta_{ij} t_{ij} \rightarrow \min$$

при ограничениях

$$\begin{cases} \sum_j t_{ij} \leq R_i, \forall i = \overline{1, k} \\ \sum_i t_{ij} \leq Q_j, \forall j = \overline{1, n} \\ t_{ij} \geq 0 \end{cases}$$

Построенная задача математического программирования с двумя целевыми функциями и одной и той же областью ограничений может быть решена методом уступок либо методом минимизации отклонения от идеальной точки. Суть первого метода состоит в решении на первом этапе оптимизационной задачи для одной целевой функции. Затем по этой функции делается уступка и она переводится в ограничение. Далее решается задача для второй целевой функции. Вторым методом заключается в нахождении идеальной точки, которая запоминается, затем решается оптимизационная задача, направленная на поиск точки, максимально приближенной к идеальной. Первый метод предпочтительней использовать, когда конечной целью оптимизации является построение аппроксимации кривой Парето.

Приведем пример, иллюстрирующий особенности предлагаемого подхода для конкретных данных, полученных по результатам эксплуатации тренажерного комплекса подготовки операторов устройств ввода–вывода данных для одного из энергогенерирующих комплексов. Обучение операторов проводилось при использовании четырех обучающих программ, каждая из которых при реализации использовала три режима тренажерного комплекса.

По результатам эксплуатации такого тренажера получены следующие статистические оценки для элементов матриц А и В.

Матрица А:				Матрица В:		
0,1	0,5	0,4		0,09	0,33	0,29
0,4	0,4	0,2		0,29	0,29	0,17
0,6	0,1	0,5		0,38	0,09	0,33
0,1	0,1	0,8		0,09	0,09	0,44

Фонд времени программ и тренажеров задан директивно и определяется соответственно величинами: $R = \{2; 3; 4; 5\}$, $Q = \{6; 4; 3\}$.

Решим поставленную оптимизационную задачу методом уступок. На первом этапе найдем значение первой целевой функции. Оно равно 7,1, при этом вторая целевая функция равна 0. Сделаем уступку по второй целевой функции на 2 единицы. Получим точку со значениями целевых функций 3,47 и 2 соответственно. Таким образом, делая ряд уступок по второй целевой функции, получим матрицу:

0	0,5	0
0	0	0
4	0	0
0	0	3

Множество Парето показано на рисунке 5.

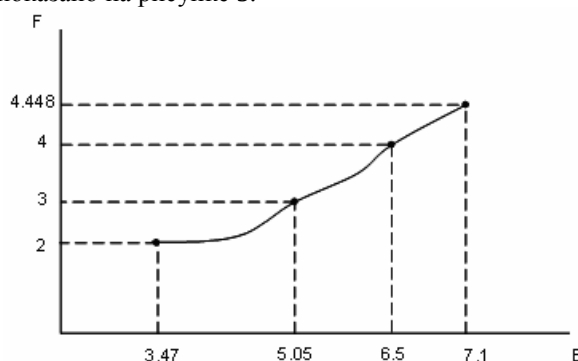


Рисунок 5 – Множество Парето оптимальных точек при решении оптимизационной задачи методом уступок

Решим поставленную задачу методом минимизации отклонения от идеальной точки при тех же исходных данных. Значения целевых функций равны $E = 5,09$ и $F = 3,02$. Матрица примет вид:

$2,25 \cdot 10^{-8}$	0,57	0
$0,50 \cdot 10^{-8}$	0	0
4	$2,25 \cdot 10^{-8}$	0
0	0	3

Таким образом, предлагаемый подход к планированию тренажерного времени на основе решения задач векторной оптимизации позволяет получить эффективные по Парето планы, реализация которых будет способствовать решению задач совершенствования операторской деятельности в системах критического применения.

Дальнейшим направлением исследований является уточнение предложенных моделей за счет рассмотрения в них нелинейных эффектов, связанных с необходимостью учета темповой нагрузки операторов при обучении.

Библиографический список

1. Ястребенский М.А. Безопасность атомных станций: Информационные и управляющие системы / М.А. Ястребенский [и др.]. — К.: Техніка, 2004. — 472 с.
2. Скاتков И.А. Дифференциальная модель информационных процессов обучения операторов АСУ / И.А. Скатков // Сб. науч. тр. СИЯиП. — Севастополь, 2001. — Вып. 5. — С. 76–82.
3. Леоненков А.В. Решение задач оптимизации в среде MS Excel / А.В. Леоненков. — СПб.: БХВ-Петербург, 2005. — 704 с.

Поступила в редакцию 24.02.2010 г.