

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ОБУЧАЮЩИХ СИСТЕМ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ОПЕРАТОРОМ ДИСКРЕТНЫХ ОПЕРАЦИЙ

1 Формализация деятельности оператора при выполнении дискретных операций

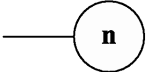
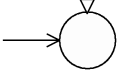
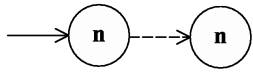
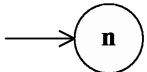
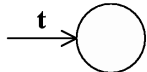
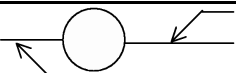
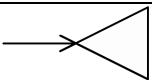
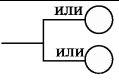
Формализация деятельности оператора предполагает в первую очередь моделирование его трудового процесса. Согласно принятой ранее иерархической структуре [1] полная модель деятельности оператора при выполнении учебной задачи может быть представлена в виде набора взаимосвязанных между собой частных моделей с учетом специфики связей между ними, вытекающей из психологических возможностей человека и характерных для данной системы условий его деятельности.

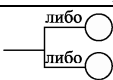
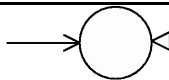
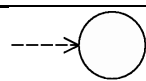
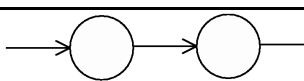
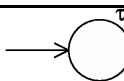
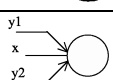

Принятый ранее формализм теории дифференциальных уравнений для единообразного изложения формальной методологии общественного анализа и синтеза эргатических систем при выполнении оператором дискретных операций не подходит. Это связано с тем, что доля информации, при которых оператор варьирует динамические параметры, весьма незначительна. Большую часть времени система выполняет логические операции, связанные с включением (выключением) оператором некоторой совокупности органов управления. Известную трудность представляет и тот факт, что в некоторых случаях последовательность изменения органов управления не является строгой и может иметь множество колебаний, в том числе и параллельное выполнение части из них. Следует отметить также, что ряд операций должен выполняться (либо выполняются при невмешательстве оператора) с заданной временной задержкой. Наконец, в данной системе, как и в любой технической системе, возможны отказы, которые оператор в процесс эксплуатации АСУ ТП и объектов движения, должен уметь идентифицировать и принимать соответствующие меры по их устранению.

Отсюда, необходима иная, специфическая модель, описывающая функционирование эргатической системы как с точки зрения формализации деятельности оператора с целью выработки критериев оценки, так и с точки зрения построения имитационных алгоритмов автоматизированных обучающих систем (АОС), отражающих функционирование реальных технических систем.

В качестве такой модели предлагается структурно-логическая модель, графическое изображение и смысловое содержание основных элементов которой приведены в таблице 1.

Табл. 1: Основные элементы структурно-логических моделей

№/№	Графическое изображение	Описание
1.		Начало алгоритма
2.		Операция и ее номер
3.		Операция с физическим вмешательством оператора
4.		Режим длительного функционирования
5.		Отказ и номер последней операции, при которой появился отказ
6.		Направление действия
7.		Операция с указанием временной задержки
8.		Конец операции Начало операции
9.		Конец алгоритма
10.		Параллельное выполнение (обязательное) для любой последовательности
11.		Параллельное выполнение, но допускается выполнить только одну операцию (или рекомендуется)

№/№	Графическое изображение	Описание
12.		Параллельное выполнение, но необходимо выполнить только одну операцию
13.		Запрет операции (запрет на выполнение данной операции)
14.		Операция по внешней связи (операции по смежным системам)
15.		Последовательное выполнение (обязательное)
16.		Длительность операции
17.		x – выполняемая операция, y_1, y_2 – условия для выполнения операции x
18.		Функциональная зависимость

Структурной единицей данной модели согласно принятой иерархии является режим, представляющий собой функционально завершённый, имеющий начало и конец на достаточно большом интервале времени акт деятельности, направленный на выполнение одной из функций оператора. Каждая учебная задача представляется как совокупность режимов, связанных логическими и временными связями.

Сам же режим состоит из элементарных операций, связанных с функционально-логической схемой, постоянной на базе элементов таблицы 1 и отражающей действия оператора и реализацию на них реального объекта управления при обработке данного режима. В некоторых случаях, в зависимости от функциональной значимости, элементарная операция может рассматриваться как отдельный режим. Согласно принятой иерархической структуре критериев оценки – нижним уровнем оценки является оценка по параметрам. В качестве такого параметра в данном случае прием состояние того или иного органа управления,

причем это состояние определяется одним из состояний типа “1” и “0”, а именно “включено – выключено”, “максимум – минимум”, “больше – меньше”, “открыто – закрыто” и т.д.

Теперь, если входной вектор состояния органов управления в j -м режиме представить как $\bar{x}_{вхj}$, а выходной вектор $\bar{x}_{выхi}$, то процесс выполнения оператором определенных функциональных преобразований можно записать зависимостью

$$\bar{x}_{выхi} = Q_j(\bar{x}_{вхj}) \quad (1)$$

где $Q_j(\bar{x}_{вхj})$ – оператор преобразования в j -м режиме над входным вектором состояния $\bar{x}_{вхj}$ органов управления. С операторской деятельностью человека неразрывно связана еще одна составляющая – время t_j , в течение которого оператор может выполнять преобразование Q_j .

Следуя принятой схеме обучения по принципу “учитель – ученик” [2], в подсистеме “Учитель” должно быть эталонное преобразование $Q_{jэт}$. Тогда, очевидно, если в процессе выполнения j -го режима учебная задача и $Q_j = Q_{jэт}$, то оператор идеально выполняет поставленную перед ним задачу. Во всех других случаях на основе рассогласования двух систем мы должны некоторым образом сформировать оценку качества выполнения оператором поставленной задачи.

Необходимо отметить, что в общем случае, аналитическое представление операторов преобразования Q_j весьма затруднено, так как они являются функциями многих параметров.

2 Методика построения математических моделей алгоритмов имитации

Очевидно, что как для получения эталона работы идеального оператора, так и для работы самого тренажера, необходимо иметь математические модели алгоритма имитации функционирования реальных технических систем. Анализ отечественной и зарубежной литературы показывает, что единой методологии построения таких моделей нет. В качестве такой методологии предлагается методика конструирования алгоритмов имитации, построения на базе структурно – логических моделей.

В основу методики положены логические высказывания (выражения) о связях существования или реализации событий с реализацией условий (причин) их (событий) существования.

Событие – информационный или выходной сигнал системы, значение параметра, реализация функции, состояние элемента и т.д.

Причина (условие) – управляющее или внешнее воздействие, отказ в системе настоящее и предшествующее состояние какого-либо элемента и т.д.

Формирование алгоритмов имитации, условное обозначение элементов которых и их смысловое содержание приведены в таблице 2, осуществляется по следующим правилам:

1. для структур, не имеющих элементов с памятью, используется логическое выражение типа: $Y = X1 * X2$ – событие Y существует, если

существует условие $X1$ и $X2$;

$Y = X1 \vee X2$ – событие Y существует, если существует условие $X1$ или $X2$.

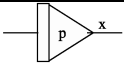
- для структур с элементами памяти вводится символ предшествования t , связывающий существование событий в системе с существованием условий (причин) их существования во времени:

$Z1 = X * tZ0$ – событие $Z1$ если существует условие X и $Z1$ предшествовало событие $Z0$.

Здесь нужно выделить (что имеет значение) два условия:

- условия возникновения события $Z1$;
- условия сохранения (поддержание) события $Z1$.

Табл. 2 – Основные элементы алгоритмов имитации.

№/№	Условное обозначение	Описание
1.	X, Y, Z	События, принимающие значение 0 или 1
2.	x, y, z	Параметры, имеющие числовое значение
3.	s	Имитируемый отказ
4.	*	Логическая операция “И”
5.	\vee	Логическая операция “ИЛИ”
6.	\leftarrow	Условие возникновения
7.	t	Символ предшествования
8.	τ	Время задержки
9.	$><>=>$	Больше (больше, равно)
10.	$<<<=>$	Меньше (меньше, равно)
11.	$ $	Модуль
12.	$f()$	Функциональная зависимость
13.		Блок решения дифференциальных уравнений

Тогда в эквивалентной форме выражение можно записать:

$$Z1 = X * tZ0 \quad \vee \quad X * tZ0$$

Условие возникновения Условие поддержания

Форма записи:

$\leftarrow Z1X * tZ0$ – фиксирует только условие возникновения (реализации) события $Z1$: это означает, что событие $Z1$ реализуется только после реализации события $Z0$, при условии существования условия X .

Если символом предшествования связано несколько условий, то очередность реализации условий определена следующим образом:

$X1 * t(X1, X0)$ – условие $X1$ реализуется во времени обязательно позже реализации условия $X0$;

$X1 * X2 * tX1$ – условие $X1$ реализуется первым.

Введение имитационного отказа S в текущий момент времени с привязкой:

- к существующему состоянию $Z1$ осуществляется с помощью выражения $Z1 = X1 * S * tX0$;
- к предшествующему состоянию $Z0$:
 $Z1 = X1 * t(S * Z0)$.

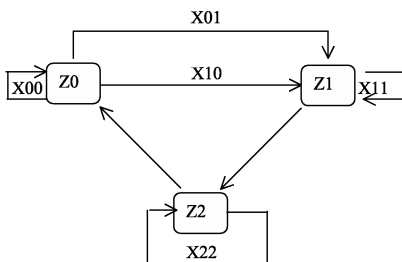


Рис. 1 – Граф состояний и переходов

Формирование алгоритмов (систем выражения) для структур с элементами памяти, осуществляются на основе анализа графа состояний и переходов.

Здесь: $X0, Z1, Z2$ – полное множество состояний некоторого элемента; $X00, X11, X22$ – условие сохранения (поддержание состояний $Z0, Z1, Z2$);

$X01, X10, X12, X120$ – условие перехода элемента из одного состояния в другое.

Условие сохранения и условия перехода (не сохранения) одного и того же состояния не должны существовать одновременно, так как состояние должно быть устойчивым и управляемым, что выполняется при условиях:

- для $Z0$ – $X00 = X01$;
- для $Z1$ – $X11 = X10 * X12$;
- для $Z2$ – $X22 = X20$.

Тогда логические высказывания по существованию каждого из состояний элемента:

$$\begin{aligned}
 Z1 &= X01 * t(X01 * Z00) \vee X10 * X12 * Z1; \\
 Z2 &= X12 * t(X12 * Z1) \vee X20 * tZ2; \\
 Z3 &= Z1 * Z2 = X10 * t(X10 * Z1) \vee X20 * t(X20 * Z2) \vee X01 * tZ0.
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

Для уменьшения результата (громоздкости) описание реальных систем можно использовать формы записи выражений с исключением условий поддержания состояний. При этом вводится следующее правило (условие): “Если элемент находится в некотором состоянии $Z1$ из заданного множества “ Z ”, то состояние $Z1$ сохраняется (существует) до тех пор, пока не возникает (не существует) ни один из предписанных условий перехода элемента $Z1$ в другое состояние множества “ Z ”.

Тогда система выражений (2) примет вид:

$$\begin{aligned} Z1 &= X01 * t(X01 * Z0); \\ Z2 &= X12 * t(X12 * Z1); \\ Z0 &= X10 * t(X10 * Z1) \vee X20 * t(X20 * Z2). \end{aligned} \quad (3)$$

Форма (3) содержит условие всех переходов. По форме (3) и правилу можно восстановить исключительные условия сохранения состояний. То есть можно перейти к форме (2):

- состояние $Z1$ для перехода сохраняется, если не существует предписанное условие для перехода в состояние $Z2$ и $Z0$, т.е. существует условие $X12 * X10 * t Z1$;
- состояние $Z2$ сохраняется, если не существует предписанное условие для перехода в состояние $Z0$, т.е. существует условие $X20 * t Z2$;
- состояние $Z0$ сохраняется, если не существует условие для перехода в состояние $Z1$, т.е. существует условие $X10 * t Z0$.

Для сохранности в содержании алгоритмов всех свойств устойчивости и управляемости элементов следует проводить проверку систем выражений по следующим правилам:

1. правило обеспечения условий устойчивости:

“При реализации каждого из условий перехода в состояние Z не может возникнуть условие для выхода из этого состояния, если это потенциально не предусматривается”.

Например:

для $Z0$: $X01X10, X01X20$;

для $Z1$: $X10X01, X12X01$;

для $Z2$: $X20X12$;

2. правило обеспечения условий управляемости:

“Для каждого состояния Z всегда должна обеспечиваться реализация только одного из предписанных условий перехода в другие состояния (одновременное существование условий перехода в различные состояния должно исключаться)”.

Например:

для $Z1$: $X10 * X20 = 0$;

($Z2$ и $Z0$ для одновременных переходов нет).

3. Если некоторое событие X должно произойти по истечению некоторого времени τ_1 , то используется запись

$$X * \tau > \tau_1$$

4. Если событие X имеет место в некотором интервале времени (τ_1, τ_2) , то используется запись

$$X * (\tau_1 \leq \tau \leq \tau_2).$$

5. Если появление события X связано с достижением параметром X некоторого значения x_1 , то форма записи примет вид

$$X * x \geq x_1.$$

Очевидно, при некоторых условиях будут иметь место соотношения типа

$$X * (y \geq y_1 \vee x \leq x_1);$$

$$Y * (y \geq y_1) * (z > z_1) \text{ и т.д.}$$

6. Если, в алгоритме имитации присутствуют функциональные зависимости типа $y = f(x)$ или $x = f(t)$, то в первом случае значение y определяется непосредственно по графику на основании значения x . Во втором случае отсчет аргумента времени определяется при переходе на данный график либо с нуля (при отсутствии дополнительных условий), либо с $t = t_0$ соответствующем $x = x_0$.
7. Наконец, решение дифференциального уравнения всегда начинается с нулевого отсчета времени при различных начальных условиях, определяемых алгоритмом имитации.

3 Формирование эталонных и текущих дискретных состояний органов пультов управления

Для обеспечения возможности контроля и оценки в рамках автоматизированной обучающей системы, построенной по схеме “учитель – ученик”, необходимо представить деятельность обученного и тренированного оператора некоторой эталонной моделью, а деятельность обучающего оператора текущей моделью.

Как, эталонная, так и текущая модели строятся на основе структурно - логических моделей, приведенных в разделе 1 поскольку основной структурной единицей в такой модели является отдельный режим, то очевидно, что создание эталонной модели предполагает в первую очередь создание эталонного оператора преобразования Q_j каждого j – го режима. Как уже указывалось ранее, Q_j можно представить матрицей,

отражающей последовательное изменение текущего состояния дискретных органов управления данного режима. При этом если число столбцов такой матрицы, определяемое числом органов управления, для каждого режима является величиной вполне определенной и неизменной, то число строк, определяемое выполненными оператором дискретных операций, неоднозначно в силу функциональных особенностей человека даже для обученного и тренированного оператора.

Поэтому эталонных моделей, т.е. матриц Q_j может быть несколько в каждой режиме, причем общим для них являются абсолютно идентичные первая и последняя строки. Первой строкой матрицы $Q_{j\text{эт}}$ является исходное к началу обработки j -го режима состояние органов управления. Последней строкой является заданное конечное состояние органов управления, определяемое учебной задачей на обработку j -го режима. Эталонная матрица будет только в том случае единственной. Если при обработке j -го режима не допускается произвольное и одновременное переключение органов управления. Для большинства же режимов характерны ситуации, когда оператор может одновременным и произвольным в рамках допустимого переключения органов управления выполнить поставленную задачу.

Учитывая выше изложенное, в качестве эталона предлагается использовать первую и последнюю строки матрицы $Q_{j\text{эт}}$ с текущим контролем “запрещенных” комбинаций вектора состояния органов управления.

Под “запрещенной” комбинацией будем понимать полученные на основе анализа структурно – логических моделей и имитационных алгоритмов такие наборы состояний органов управления, которые в реальных условиях приводят либо к срыву выполнения j -го режима, либо к аварийному состоянию объекта.

Для формирования текущих матриц Q_j состояний органов управления введем понятие “инициативных” комбинаций вектора состояния органов управления. Роль “инициативных” комбинаций вектора состояния органов управления заключается в том, что при его (вектора) определенных состояниях работа оператора должна сопровождаться обязательным принятием (или выдачей) информации (сообщения). Отсутствие сообщения считается ошибкой, которая в процессе дальнейшей работы может быть исправлена.

В этом случае структуру текущей матрицы Q_j , которую назовем “инициативной” матрицей, можно представить следующим образом:

$$Q_j = \begin{matrix} \text{– исходное состояние органов управления} \\ \left[\begin{array}{cccc} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{array} \right] \\ \text{– инициативная комбинации} \\ x_{1j}, x_{2j} \dots \dots \dots x_{nj} \text{ – конечное состояние органов управления} \end{matrix}$$

где $(x_1, x_2, \dots, x_{nj}) - n$ – органов управления j -го режима. Здесь число строк, определяемое числом “инициативных” комбинаций ограничено сверху временем выполнения оператором j -го режима.

По аналогии с “инициативной” матрицей Q_j эталонную матрицу $Q_{j\text{эт}}$ можно представить следующим образом:

$$Q_j = \begin{matrix} \text{– исходное состояние органов управления} \\ \left[\begin{array}{cccc} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \end{array} \right] \\ \text{– запрещенные комбинации} \\ x_{1j}, x_{2j} \dots \dots \dots x_{nj} \text{ – конечное состояние органов управления} \end{matrix}$$

Здесь число строк, определяемое числом “запрещенных” комбинаций строго детерминировано и определяется из структурно – логической модели и алгоритма имитации.

При совпадении одной из строк “инициативной” матрицы со строками эталонной матрицы $Q_{j\text{эт}}$ (за исключением исходного и конечного векторов состояния органов управления) задача отработки j -го режима считается невыполненной и оценивается неудовлетворительной оценкой. При этом инструктор может потребовать отработку режима с начала.

В процессе профессиональной деятельности оператор в дискретные моменты времени (в общем случае, не равны друг другу) формирует вектор – столбцы \bar{a}_k состояния органов управления “инициативной” матрицы $Q_j = \{\bar{a}_k\} (i = 1, \dots, n; k - \text{определяется работой оператора})$.

При полностью выполненном режиме (при отсутствии совпадений “инициативных” колебаний с “запрещенными”) происходит обработка “инициативной матрицы согласно методике”, изложенной в следующем разделе.

4 Реализация многоуровневого критерия контроля и оценки при выполнении оператором дискретных операций

Анализ профессиональной деятельности оператора при выполнении операций [2, 3] показывает, что как звено эргодической системы он до-

статочно точно характеризуется быстродействием, безошибочностью (надежностью) и напряженностью деятельности.

Напряженность деятельности оператора характеризуется общей реакцией организма на воздействие информационного потока и оценивается с помощью ряда физиологических показателей (электроэнцефалограммы, кардиограммы др.). В частности, одним из таких критериев оценки общей напряженности оператора в j – м режиме является критерий вида [2]:

$$I_{H_j} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i}{y_{i \max}} \right)^2} \quad (4)$$

где $y_{j \max}$ – максимально возможные значения выбранных физиологических показателей, y_j – значения этих же показателей в данных условиях работы. Отсутствие возможности цифровой имитации оператора с точки зрения его физиологического состояния в процессе выполнения учебной задачи, приводит к тому, что его деятельность в дальнейшем оценивается только по двум параметрам: надежности и быстродействию. Это, однако, не исключает при практической реализации АОС и оценку напряженности оператора.

При выработке критерия эффективной оценки деятельности оператора по своевременному и безошибочному выполнению дискретных операций учебной задачи принята иерархическая структура критериев контроля и оценки.

Согласно принятой структуре нижним уровнем иерархии являются критерии оценки деятельности оператора по параметрам качества, в качестве которых в данном случае принято состояние органов управления в отдельном режиме.

Если принять за время выполнения i -й дискретной операции время от момента появления сигнала на отработку до момента окончания управляющих воздействий, то оно выражается следующей формулой

$$\tau_{oni} = \tau_{pi} + \tau_{dei}$$

где τ_{pi} – скрытое время реакции оператора (обычно около 2с), определяемое как интервал времени от момента появления сигнала на отработку до реакции на него оператора;

τ_{dei} – это время двигательной реакции, которое определяется как

$$\tau_{dei} = b * \log_2 \mu_i$$

где $b = 0,074$, $\mu_i = 2Ri/Qi$ – комплексный коэффициент трудности выполняемой работы, Ri – расстояние перемещения органа управления, Qi – ширина органа управления.

С учетом времени приема и восприятия информации τ_{npi} , а также времени анализа и принятия решений t_{peui} общее время выполнения i -й дискретной операции определяется как

$$\tau_{\partial oi} = \tau_{oni} + \tau_{npi} + \tau_{reshi}$$

Тогда, общее время выполнения j -режима определяется суммой времен выполнения i -тых операций в данном режиме, т.е.

$$\tau_{pi} = \sum_{i=1}^N \tau_{\partial oij},$$

где N – число дискретных операций, выполненных оператором в данном режиме.

Если теперь задать некоторое время Trj и $Tэj$ может служить основой для оценки деятельности оператора в смысле его быстродействия. Учитывая, что количественная оценка должна быть пронумерована, т.е. лежать в пределах $(0,1)$, вводим допустимый диапазон $\Delta t_{\max j}$ согласования времен Trj и $Tэj$. В результате имеем

$$I_{Tj} = \frac{Trj - Tэj}{\Delta t_{\max j}} \delta_T \quad (5)$$

где δ_T – признак своевременного выполнения j -го режима; причем $\delta_T = 0$, если $Trj - Tэj \leq 0$ и $\delta_T = 1$, если $Trj - Tэj > 0$.

Для оценки деятельности оператора – водителя в смысле его надежности (безошибочности) приняты согласно структурно – логической модели и алгоритма имитации два уровня 0 и 1 для фиксации состояния каждого органа управления. Эти уровни соответствуют физическим состояниям органов управления типа: “включено - выключено”, “минимум - максимум”, “нажать – отпустить” и т.д. В этом случае состояние каждого k -го органа управления в моменты выполнения i -тых дискретных операций может быть описано вектором - столбцом a_{ik}^j размерности N^j , элементами которого являются нули и единицы, т.е.

$$a_k^j = (a_{1k}^j, a_{2k}^j, \dots, a_{N^j k}^j)^T.$$

полагая, что число дискретных органов управления в j -м режиме равно N_0^j , то оператор преобразования Q_j можно представить матрицей

$$Q_j = \{a_{ik}^j\}, i = 1, \dots, N^j; k = 1, \dots, N_0^j,$$

которая отражает последовательное изменение текущего состояния органов управления в j -м режиме.

Если принять, что в процессе выполнения j -го режима каждый орган управления должен быть в некоторый момент времени переведен из одного крайнего состояния (0 или 1) в другое (соответственно 1 или 0) и сохраняться до конца режима, то появление любых других промежуточных переключений свидетельствует о наличии ошибок в действиях оператора. В этом случае количество ошибок $n_{ои}$ для k -го органа управления можно определить как

4. Автоматизированные обучающие системы профессиональной подготовки операторов ЛА/ Под ред. Шукшунова В.Е. М.: Машиностроение, —1986, 240 с.
5. Зайцев В.С. Системный анализ операторской деятельности.— М.: Радио и связь, 1990, 120 с.
6. Шеридан Т.Б. Феррел У.Р. Система человек-машина. Пер. с англ./Под ред Фролова К.В.— М.: Машиностроение, 1980, 400 с.
7. Стенин А.А., Торба В.Т. Критерии эффективной оценки деятельности обучаемого оператора подвижного объекта. В сб. Адаптивные САУ, вып.16, 1989, с.143-148.
8. Понтрягин Л.С., Болтынский В.Г., Гамкрелидзе Р.В., Мищенко Е.Ф. Математическая теория оптимальных процессов. – М.: Физматгиз, 1961, 392 с.
9. Игнатенко В.Н., Сиз В.Н., Стенин А.А. Синтез оптимальных управлений в системах с последствием. В сб. Адаптивные САУ, вып.7, 1979, с.29-34.
10. Игнатенко В.Н., Стенин А.А., Синеглазов В.М., Коржов В.И., Лепеха В.И. Прогнозированное оптимальное по быстродействию управление системами второго и третьего порядка с последствием. Вестник КПИ, серия автоматики и электроприборостроения, вып.12, 1975, с.124-127.
11. Игнатенко В.Н., Стенин А.А., Аракелян С.А. Прогнозированное управление траекторным движением одного класса динамических систем. В сб. Адаптивные САУ, вып.10, 1982, с.38-42.
12. Игнатенко В.Н., Стенин А.А. О числе переключений в оптимальных по расходу топлива системах управления В сб. Адаптивные САУ, вып.11, 1983, с.42-46.
13. Игнатенко В.Н., Стенин А.А. Единственность оптимальных по расходу топлива управлений в линейных стационарных системах с запаздыванием. Вестник КПИ, серия автоматики и электроприборостроения, вып.77, 1983, с.3-7.
14. Аракелян С.А., Стенин А.А., Семенов И.И. Синтез замкнутых оптимальных по расходу топлива систем с контролируемым временем перехода. В сб. КПИ, серия техническая кибернетика, вып.9, 1985, с.7-11.

Получено: 6.07.2002