

УДК 658.5.011.56

Розглядається задача проектування групової діяльності операторів ерготехнічних систем. Запропонована оптимізаційна модель вибору варіанту закріплення функцій для алгоритмів функціонування послідовного типу на графі робіт

Ключові слова: алгоритм функціонування, цільова функція, оптимізаційна модель

Рассматривается задача проектирования групповой деятельности операторов эрготехнических систем. Предложена оптимизационная модель выбора варианта закрепления функций для алгоритмов функционирования последовательного типа на графе работ

Ключевые слова: алгоритм функционирования, целевая функция, оптимизационная модель

The task of planning of group activity of operators of the the systems of «man-machine» is examined. The optimization model of choice of variant of fixing of functions is offered for the algorithms of functioning of successive type on the column of works

Keywords: algorithm of functioning, objective function, optimization model

ВЫБОР ВАРИАНТА ГРУППОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ЭРГОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С АЛГОРИТМАМИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ТИПА

Е. А. Лавров

Доктор технических наук, профессор, директор Украинский институт информационного и телекоммуникационного обеспечения агропромышленной и природоохранной отраслей экономики Национального университета биоресурсов и природопользования Украины

ул. Героев Оборона, 15, г. Киев, 03041
Контактный тел.: 050-691-37-33
E-mail: prof_lavrov@mail.ru

Н. Б. Пасько

Старший преподаватель Кафедра кибернетики и информатики Сумской национальной аграрный университет ул. Кирова, 160, г. Сумы, 40020
Контактный тел.: 050-603-06-74
E-mail: pasko_nb@mail.ru

1. Введение

Задачи исследования, проектирования и эксплуатации эрготехнических систем (ЭТС) направлены на обеспечение требуемой эффективности человеко-машинного взаимодействия [1-5].

Сложность моделирования процессов «общения» человека с техникой обусловили появление целого научного направления «Эффективность, качество и надежность эрготехнических систем», созданного проф. Губинским А.И. [1,5]. Среди ЭТС наиболее сложными для моделирования и организации оптимального функционирования являются полиэргатические ЭТС (ПЭТС), в которых необходимо организовать деятельность и взаимодействие группы операторов. При этом

деятельность операторов организовывается оператором-руководителем, который в сложных системах часто работает в условиях многовариантности и дефицита времени. В связи с этим актуальной является задачи построения систем поддержки принятия решений для оператора-руководителя. Назначение такой системы – генерировать варианты возможных решений по оперативному управлению и по возможности оценивать их последствия [5,8].

Одной из задач, которую приходится решать оператору-руководителю ПЭТС, является задача закрепления функций за операторами. В общем виде задача распределения функций между операторами сформулирована в [5,10]. Исходя из занятости операторов, на основе анализа их индивидуальных особенностей,

руководитель должен иметь возможность оценить эффективность решений по закреплению за ними поступившей заявки на выполнение функции. Особенно это становится актуальным в системах, допускающих возникновение заявок на решение некоторых задач в случайные моменты времени.

2. Анализ проблемы и постановка задачи исследования.

Задача оптимизации задана строго, если заданы:

- целевая функция (одна или несколько), т.е. показатель (критерий или параметр), в нахождении оптимального (максимального или минимального) значения которого заинтересован руководитель, и известна функция взаимосвязи его с переменными, т.е. конструктивными, организационными и другими характеристиками ЭТС, которые руководитель имеет возможность изменить по своему усмотрению;

- ограничения на характеристики, изменяющиеся при изменении управляемых переменных;

- возможный диапазон изменения переменных.

Принципиальная возможность строгой постановки задачи оптимизации появляется только тогда, когда появляются методы, позволяющие связать критерии и ограничения с переменными, изменяя которые можно искать решение.

В эргономике такая принципиальная возможность для ЭТС появилась с разработкой обобщенного структурного метода [1]. В результате, к настоящему времени имеются некоторые строгие постановки задач оптимизации алгоритма функционирования (АФ) ЭТС и методы их решения [1,2,3,4]. Наиболее распространенными показателями, используемыми при оптимизации АФ в качестве критериев и ограничений являются: вероятность безошибочного выполнения, среднее время выполнения, средний доход (расход); в векторных постановках обобщенный критерий задается как монотонная функция этих же локальных критериев.

Одной из нерешенных задач является задача закрепления отдельных операций АФ за операторами с учетом всех возможных ограничений (занятость оператора, возможность передачи функций управления от одного оператора к другому, возможность взаимодействия в группе, и т.п.).

Постановка задачи. Оператору-руководителю в некоторый заранее неизвестный момент времени t_n^1 поступает заявка $Z(f_n^1 t_n^1 t_n^2)$ на реализацию некоторой функции f_n . Задается директивное время завершения выполнения функции t_n^2 . Выполнением функции необходимо обеспечить получение некоторого результата, процесс достижения которого описывается алгоритмически. Задана структура основного алгоритма и заданы структуры алгоритмов передачи управления от одного оператора к другому.

Учитывая, что на некотором временном отрезке операторы ПЭТС уже закреплены за выполнением определенного множества функций, требования к временным характеристикам начала и окончания которых зафиксированы жестко, оператор-руководитель должен оперативно принять решение, исходя из существующей занятости оператора.

За каждым видом работ может быть закреплен один оператор. Каждый оператор характеризуется возможностью работать в группе с некоторыми другими операторами и взаимодействовать с ними. Оператор может выполнять операцию до или после некоторого другого оператора. Оператор может быть свободен или занят во время реализации алгоритма поступившей заявки.

Выбор способа выполнения поступившей заявки усложняется тем, что выполняемые операции алгоритма могут быть зависимы между собой. Можно выделить несколько типов зависимости между операциями: 1 – некоторые операции должны выполняться некоторым одним оператором; 2 - некоторые операции должны выполняться некоторыми операторами из заданного множества; 3 – выбор оператора, выполняющего операцию $p1$, обуславливает способ выполнения операции $p2$.

Выборать вариант назначения операторов на этапы технологического процесса, обеспечивающий максимум безошибочности выполнения при ограничении на среднее время выполнения алгоритма. При выполнении условий возможно формирование группы операторов для выполнения поставленных задач.

Возможны и другие ограничения, связанные с операционно-темповой напряженностью деятельности операторов и условиями труда на рабочем месте и т.п.[4], которые в данной работе не рассматриваются.

3. Разработка способа выбора оптимального варианта для алгоритмов функционирования последовательного типа на графе работ

В зависимости от конкретной производственной ситуации возможно множество различных постановок задачи выбора варианта закрепления функций.

3.1. Постановка задачи максимизации вероятности безошибочного выполнения функции

$$V(X) \rightarrow \max \quad (1)$$

$$\bar{T}(X) \leq T_0 - T_0', \quad (2)$$

$$X \in X' \quad (3)$$

где X - вектор, характеризующий вариант закрепления функций за операторами и вариант структуры алгоритма деятельности по выполнению функции; $V(X)$ - вероятность безошибочного выполнения функции; $\bar{T}(X)$ - математическое ожидание времени выполнения функции; T_0 - максимально допустимое время реализации функции (для рассматриваемого примера $T_0 = t_n^2 - t_n^1$); T_0' - значение, на которое уменьшается директивное время выполнения функции за счет того, что некоторый оператор занят выполнением других функций; X' - область допустимых решений, которая формируется исходя из анализа возможностей, функционального состояния, напряженности деятельности операторов и других возможных факторов.

3.2. Постановка задачи минимизации ущерба. Очень часто реализация функции может быть выполнена с нарушениями разных типов. Причем каждое нарушение может вести к различным значениям ущер-

ба. В этом случае недостаточно просто максимизации вероятности безошибочного выполнения. Если возможно численное выражение ущерба по каждому из неблагоприятных исходов, задача может быть сформулирована как задача минимизации ущерба от возможных нарушений.

Т.е., например, для ситуации с двумя возможными нарушениями в реализации функции целевая функция (1) может иметь вид:

$$B_1^0(X) \cdot \alpha_1 + B_2^0(X) \cdot \alpha_2 + B_{12}^0(X) \cdot \alpha_{12} \rightarrow \min \quad (4),$$

где $B_1^0(x)$ - вероятность реализации функций с нарушением первого типа;

$B_2^0(x)$ - вероятность реализации функций с нарушением второго типа;

$B_{12}^0(x)$ - вероятность реализации функций с нарушением первого и второго типа;

α_1 - ущерб от реализации функции с нарушением 1-го типа; α_2 - ущерб от реализации функции с нарушением 2-го типа; α_{12} - ущерб от реализации функции с нарушением 1-го и 2-го типа.

Моделирование процессов возникновения и устранения ошибок различных типов стало возможным после появления моделей [7].

3.3. Анализ базовых моделей для реализации алгоритмов оптимизации.

Оптимизация АФ ЭТС может проводиться на базе двух возможных типов моделей функционирования: на графе работ (функциональной сети) и на графе событий (с использованием полумарковских процессов) [5,6].

Первичной и более естественной формой представления АФ является граф работ. Для получения графа событий каждой вершине графа работ необходимо сопоставить события, соответствующие началу или окончанию выполнения соответствующей работы или операции. Исходов выполнения работ может быть несколько, в простейшем случае два: ошибочное выполнение и безошибочное выполнение. Каждому из исходов ставится в соответствие отдельная дуга на графе. Каждое из последующих состояний соответствует различным исходам выполнения АФ, в простейшем случае: правильное и неправильное.

Оба способа обладают своими достоинствами и недостатками, влияющими на удобство решения задачи оптимизации. При решении задачи в пространстве состояний (на графе событий) значительно теряется содержательный смысл задачи, требуется достаточно трудоемкий переход к такому описанию, отсутствует возможность учета на полумарковском процессе (ПМП) различных ограничений на структуру ЭТС. Однако преимуществом постановки задач на ПМП является универсальность описания задачи, в то время, как при постановке задачи на графе работ обычно приходится отмечать, какова структура АФ, например, сводящаяся к последовательной, с глобальными обратными связями и т.п. На графе работ наиболее удобно решать задачи в случае, когда структура алгоритма сводится к последовательной.

3.4. Разработка подхода к постановке и решению задачи проектирования групповой деятельности для алгоритмов последовательного типа. Разработаем способ решения поставленной задачи оптимизации с ограничением на математическое ожидание времени

выполнения функции при условии, что соответствующий АФ сводится к алгоритму последовательного типа, т.е. может быть представлен либо последовательным выполнением отдельных операций (или более крупных функциональных элементов), либо последовательным выполнением отдельных фрагментов функциональных сетей.

Рассмотрим формализацию задачи (1), (2), (3) в случае, если удастся АФ привести к структуре, описываемой последовательными соединениями типовых функциональных единиц (ТФЕ.)

Пусть АФ состоит из n_0 ТФЕ. Каждая ТФЕ может выполняться m_n числом способов (операторов), для каждого из них известны вероятность безошибочного выполнения B_{nm} и случайная величина T_{nm} времени выполнения. Максимальное количество способов (операторов) выполнения - m_0 . Введем булеву переменную x_{nm} . Эта переменная необходима для фиксации способа выполнения операции: $x_{nm}=1$, если для n -ой операции выбрать m -й способ выполнения, $x_{nm}=0$, в противном случае. Для отображения зависимости между операциями и отображения ограничений на способы выполнения операций введем еще две булевы переменные a_{ln} и sp_{ij} .

Переменная a_{ln} ($l=1,2,\dots,n_0$; $n=1,2,\dots,n_0$) нужна для отображения зависимости операций: $a_{ln} = 1$, если операции l и n должны выполняться одним способом, и $a_{ln} = 0$, если $l=n$ или не существует связи между выбором операторов выполнения операций. a_{ln} - элементы матрицы зависимости операций.

Переменная sp_{ij} ($i=1,2,\dots,n_0$; $j=1,2,\dots,m_0$) фиксирует допустимые способы выполнения операции: $sp_{ij} = 1$, если i -я операция может выполняться j -м оператором, и $sp_{ij} = 0$ - в противном случае. sp_{ij} - элементы матрицы способов выполнения операций.

Зависимость между операциями и способами их выполнения через переменные a_{ln} и sp_{ij} выражаем следующим образом:

1. Все операции могут выполняться любым оператором, т.е. операции - независимые. В этом случае все элементы матрицы зависимости операций равны нулю, а все элементы матрицы способов выполнения операций равны единице:

$$a_{ln} = 0, \text{ где: } l=1,2,\dots,n_0; n=1,2,\dots,n_0 \quad (5)$$

$$sp_{ij} = 1, \text{ где: } i=1,2,\dots,n_0; j=1,2,\dots,m_0$$

2. Зависимость между операциями состоит в том, что некоторая l -я операция выполняется тем же оператором, что и n -я операция. Оператор для выполнения указанных операций может быть выбран любой. Тогда, аналогично п.1, все элементы матрицы способов выполнения операций равны единице. Зависимость между операциями задается единичными элементами матрицы зависимости:

$$a_{ln} = 1, \text{ где: } l \in \{1,2,\dots,n_0\}; n \in \{1,2,\dots,n_0\}$$

$$sp_{ij} = 1, \text{ где: } i=1,2,\dots,n_0; j=1,2,\dots,m_0 \quad (6)$$

3. Все операции независимы между собой, но некоторые операции должны выполняться некоторым одним (или несколькими) операторами. Такая зависи-

мость операций от способа выполнения отображается ненулевыми элементами матрицы способов выполнения операций. При этом все элементы матрицы зависимости операций равны нулю.

$$\begin{aligned} sp_{ij} &= 1, \text{ где: } i \in \{1, 2, \dots, n_0\}; j \in \{1, 2, \dots, m_0\} \\ a_{ln} &= 0, \text{ где: } l=1, 2, \dots, n_0; n=1, 2, \dots, n_0 \end{aligned} \quad (7)$$

4. В структуре алгоритма функционирования существуют зависимые операции. Зависимость между операциями состоит в том, что некоторая l -я операция и некоторая n -я операция должны выполняться k -м оператором. Такая зависимость операций отображается ненулевыми элементами матрицы зависимости операций и матрицы способов выполнения операций:

$$a_{ln} = 1, s_{lk} = 1, s_{nk} = 1, \quad (8)$$

$$\text{где: } n \in \{1, 2, \dots, n_0\}; k \in \{1, 2, \dots, m_0\}; l \in \{1, 2, \dots, n_0\}$$

Таким образом, на элементах матрицы зависимости операций и матрицы способов выполнения операций задаются способы выполнения для всех операций и зависимость между операциями.

В случае, если выбор варианта закрепления поступившей заявки на реализацию функции обуславливается занятостью операторов на момент времени выполнения функции, необходимо учесть, что свободного времени каждого оператора должно быть не меньше, чем среднее время выполнения им алгоритма этой функции. С этой целью введем переменную ts_k , принимающую значение, равное значению свободного времени k -го оператора. Количество свободного времени каждого оператора ПЭТС на момент времени выполнения вновь поступившей заявки на выполнение функции оператор-руководитель может определить с помощью модели плановой занятости операторов [7,8]. Для случая независимых между собой и от способа выполнения операций и незапятанных выполнением других функций операторов задача (1), (2), (3) формализуется следующим образом:

$$F(X) = \prod_{n=1}^{n_0} \sum_{m=1}^{m_n} B_{nm} x_{nm} \rightarrow \max \quad (9)$$

$$\sum_{n=1}^{n_0} \sum_{m=1}^{m_n} T_{nm} * x_{nm} \leq T_0 \quad (10)$$

$$x_{nm} \in \{0, 1\}, n = 1, \dots, n_0; m = 1, \dots, m_n \quad (11)$$

$$\sum_{m=1}^{m_n} x_{nm} = 1, n = 1, \dots, n_0 \quad (12)$$

Рассмотрим 2-й тип зависимости между операциями, входящими в структуру алгоритма деятельности, реализующего поступившую на выполнение функцию. Как отмечалось выше, такого рода зависимость между операциями задается ненулевыми элементами матрицы зависимости (формула 6). Тогда задачу (9), (10), (11), (12) необходимо дополнить ограничениями, учитывающими зависимость между операциями. Так как элементы матрицы зависимости симметричны относительно диагональных элементов, то при составлении ограничений учитываем только те ненулевые

элементы матрицы, которые стоят над диагональными элементами. Для каждого ненулевого элемента матрицы зависимости $a_{ln}=1(n>l)$ ограничения, отображающие тот факт, что операции с номером l и n , выполняются одним оператором, будут иметь вид:

$$x_{lk} + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^{m_n} x_{nm} = 1, k = 1, 2, \dots, m_1 \quad (13)$$

Таким образом, для 2-го типа зависимости между операциями задача (9), (10), (11), (12) дополняется ограничениями (13).

В 3-ем случае, когда на независимые операции в структуре алгоритма функционирования накладываются ограничения на способ выполнения (т.е. некоторые операции должны выполняться некоторым одним или несколькими операторами), в задаче (9), (10), (11), (12) в ограничении (12) каждое слагаемое умножается на множитель, задающий способ выполнения операции:

$$\sum_{m=1}^{m_n} s_{nm} * x_{nm} = 1, n = 1, 2, \dots, n_0 \quad (14)$$

Самый общий случай зависимости между выполняемыми операциями предполагает, что в структуре алгоритма функционирования могут быть операции, которые выполняются одним оператором, и этот оператор может быть конкретно задан. Такой способ зависимости задается элементами матрицы зависимости и элементами матрицы способов выполнения операций по формуле (8). Тогда для каждого ненулевого элемента матрицы зависимости $a_{ln}=1(n>l)$ ограничения, отображающие тот факт, что операции с номером l и n , выполняются k -м оператором, будут иметь вид:

$$x_{lk} * s_{lk} + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^{m_n} s_{nm} * x_{nm} = 1, s_{lk} > 0, k \in \{1, 2, \dots, m_0\} \quad (15)$$

Таким образом, для 4-го типа зависимости между операциями задача (9), (10), (11), (12) дополняется ограничениями (15).

Занятость операторов ПЭТС на момент времени выполнения вновь поступившей функции учитывается в задаче с помощью переменной ts_k и системы следующих ограничений:

$$\sum_{n=1}^{n_0} T_{nk} * x_{nk} \leq ts_k, k = 1, 2, \dots, m_0 \quad (16)$$

Таким образом, в общем случае, задача проектирования групповой деятельности для алгоритмов последовательного типа формулируется следующим образом:

$$F(X) = \prod_{n=1}^{n_0} \sum_{m=1}^{m_n} B_{nm} * x_{nm} \rightarrow \max \quad (17)$$

$$\sum_{n=1}^{n_0} \sum_{m=1}^{m_n} T_{nm} * x_{nm} \leq T_0 \quad (18)$$

$$x_{nm} \in \{0, 1\}, n = 1, 2, \dots, n_0; m = 1, 2, \dots, m_n \quad (19)$$

$$s_{nm} \in \{1, 0\}, n = 1, 2, \dots, n_0; m = 1, 2, \dots, m_0 \quad (20)$$

$$\sum_{m=1}^{m_n} s_{nm} * x_{nm} = 1, n = 1, 2, \dots, n_n \quad (21)$$

$$x_{lk} * s_{lk} + \sum_{\substack{m=1 \\ m \neq k}}^{m_0} s_{nm} * x_{nm} = 1, s_{lk} > 0, k \in \{1, 2, \dots, m_0\} \quad (22)$$

$$\sum_{n=1}^{n_0} T_{nj} * x_{nj} \leq ts_j, j = 1, 2, \dots, m_0 \quad (23)$$

Матрица зависимости операций содержит два нулевых элемента:

$$a_{13}=1; a_{31}=1$$

Свободное время операторов:

$$ts_1=15, ts_2= 5, ts_3=10.$$

В соответствии с формулами (9), (10), (11), (12), (13) и (16) получим целевую функцию и систему ограничений

$$F(X) = (0,98 * x_{11} + 0,95 * x_{12} + 0,93 * x_{13}) * (0,97 * x_{21} + 0,98 * x_{22} + 0,9 * x_{23}) * (0,95 * x_{31} + 0,93 * x_{32} + 0,9 * x_{33}) \rightarrow \max$$

$$3,2 * x_{11} + 3,5 * x_{12} + 4 * x_{13} + 3,7 * x_{21} + 3,1 * x_{22} + 3,0 * x_{23} + 3,5 * x_{31} + 3,4 * x_{32} + 3,2 * x_{33} \leq 10,8$$

$$x_{nm} \in \{0, 1\}, n = 1, 2, 3; m = 1, 2, 3.$$

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} = 1$$

$$x_{21} + x_{22} + x_{23} = 1$$

$$x_{31} + x_{32} + x_{33} = 1$$

$$x_{11} + x_{32} + x_{33} = 1$$

$$x_{12} + x_{31} + x_{33} = 1$$

$$x_{13} + x_{31} + x_{32} = 1$$

$$3,2 * x_{11} + 3,5 * x_{12} + 4,0 * x_{13} \leq 15$$

$$3,7 * x_{21} + 3,1 * x_{22} + 3,0 * x_{23} \leq 5,0$$

$$3,5 * x_{31} + 3,4 * x_{32} + 3,2 * x_{33} \leq 10$$

4. Пример реализации

В качестве примера рассмотрим алгоритм деятельности, который состоит из трех последовательно выполняемых рабочих операций (рис. 1). Операции могут выполнять три оператора (т.е., существует три способа выполнения). Первая и третья операции должны выполняться одним способом. Показатели качества выполнения операторами операций алгоритма заданы (табл. 1). Указано количество свободного времени каждого оператора (1-й оператор – 15мин., 2-й оператор – 5мин., 3-й оператор – 20мин.). Решить задачу максимизации вероятности безошибочного функционирования при ограничении на среднее время выполнения (10,8мин.)

Таблица 1

Показатели безошибочного выполнения рабочих операций

Показатели		Операции								
		P1			P2			P3		
		Оператор 1	Оператор 2	Оператор 3	Оператор 1	Оператор 2	Оператор 3	Оператор 1	Оператор 2	Оператор 3
Вероятность В1		0,98	0,95	0,93	0,97	0,98	0,9	0,95	0,93	0,9
Временной	М, мин	3,2	3,5	4	3,7	3,1	3,0	3,5	3,4	3,2

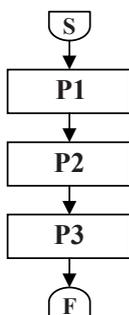


Рис. 1. Обобщенная структура алгоритма деятельности

Для решения составленной оптимизационной задачи используем средство «Поиск решения» табличного процессора MS Excel. Для этого на рабочем листе MS Excel устанавливаем целевую ячейку и заносим в эту ячейку формулу расчета целевой функции, задаем ограничения на переменные, на среднее время выполнения и на занятость операторов и выполняем решение (см. рис. 2).

В результате, при заданных исходных данных (табл. 1) и введенных ограничениях, получаем значение целевой функции F(X)=0,8379. Полученные значения переменных означают, что 1-я и 3-я операции должны выполняться первым оператором, 2-я операция – третьим оператором. При этом на выполнение операций алгоритма будет затрачено 9,7 мин. Первый оператор будет занят 6,7мин., третий – 3мин.

Выводы

Задача проектирования групповой деятельности направлена на устранение возможных негативных последствий от деятельности операторов и создание комфортных условий для людей (операторов-исполнителей и оператора-руководителя). Большое количество возможных вариантов не позволяет руководителю оценить оперативно последствия каждого из них. Поддержка принятия решений состоит в выборе оптимального (в постановке оператора-руководителя) варианта.

Предложенная оптимизационная модель выбора варианта закрепления функций для алгоритмов функционирования последовательного типа на графе работ позволяет оператору-руководителю в условиях информационной напряженности и дефицита времени оценить последствия распределения работ и выбрать оптимальный вариант.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
23	Переменные													
24	Имя	X11	X12	X13	X21	X22	X23	X31	X32	X33				
25	Значение	1	0	0	0	0	1	1	0	0				
26	Нижнее ограничение	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
27	Верхнее ограничение	1	1	1	1	1	1	1	1	1				
28	Целочисленное	Целое	ЦФ	Напр										
29	Коэффициенты целевой функции B_i	0,98	0,95	0,93	0,97	0,98	0,9	0,95	0,93	0,9	0,8379	Макс		
30	Ограничения													
31	Вид										Левая часть	Знак	Правая часть	
32	На переменные 1	1	1	1							1	=	1	
33	На переменные 2				1	1	1				1	=	1	
34	На переменные 3							1	1	1	1	=	1	
35	На переменные 4										1	=	1	
36	На переменные 5										1	=	1	
37	На переменные 6										1	=	1	
38	На среднее время выполнения										9,7	≤	10,8	
39	На занятость 1-го оператора										6,7	≤	15	
40	На занятость 2-го оператора										0	≤	5	
41	На занятость 3-го оператора										3	≤	10	
42	Мат.ожидание, T_i	3,2	3,5	4	3,7	3,1	3	3,5	3,4	3,2				
43	Заданное директивное время, T_0	10,8												
44	Свободное время операторов, мин.													
45	Оператор 1	15												
46	Оператор 2	5												
47	Оператор 3	10												

Рис. 2. Применение средства «Поиск решения» для решения оптимизационной задачи

Литература

1. Губинский А.И. Надежность и качество функционирования эргатических систем. Л.: Наука, 1982. 270с.
2. Гриф М.Г., Цой Е.Б. О расширении понятия зависимых вершин в задачах оптимизации эрготехнических систем //Алгоритмическое и программное обеспечение задач оптимального планирования и проектирования. – Новосибирск: НГУ, 1983. – С.85-88.
3. Губинский А.И., Гриф М.Г., Цой Е.Б. О некоторых алгоритмах оптимизации систем «человек-техника» // Применение ЭВМ в оптимальном планировании и проектировании. – Новосибирск: НГУ, 1981, С.148-154.
4. Губинский А.И., Чабаненко П.П., Лаушкин Г.Д. Оптимизация эрготехнических систем. – Киев: Знание УССР, 1982. – 24с.
5. Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания: Справочник/ Адаменко А.Н., Ашероф А.Т., Лавров Е.А. и др. под общ. ред. Губинского А.И. и Евграфова Е.Г.- М., Машиностроение, 1993. – 528с.
6. Сильвестров Д.С. Полумарковские процессы с дискретным множеством состояний (основы расчета функциональных и надежностных характеристик стохастических систем). – М.: Сов. Радио, 1980. – 271 с.
7. Лавров Е.А., Пасько Н.Б. Моделирование надежности человеко-машинных систем: учет ошибок разных типов. Восточно-европейский журнал передовых технологий. Сер. "Системы управления. Информационные технологии". №2/2 (26). - С. 25-35.
8. Е.А. Лавров, Н.Б. Пасько. Информационная модель для поддержки принятия решений оператором-руководителем// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Сер. Информационные технологии. - Харьков, 2009- 6/2 (42) с.49-53.
9. Е.А. Лавров, Н.Б. Пасько. Модели для обоснования структуры системы поддержки принятия решений оператора-руководителя// Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Сер. Системы управления. - Харьков, 2010- 1/5 (43) с.58-62.
10. Лавров Е.А. Методы и средства эргономического проектирования автоматизированных технологических комплексов. - Автореферат дисс. на соиск. ученой степени докт. техн. наук. - Сумы, 1996. - 32с.