Краткие сообщения

УДК 65.011.56 **DOI: 10.14529/ctcr190410**

РЕСУРСНО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ В ЗАДАЧАХ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ УПРАВЛЕНИИ СЛОЖНЫМИ СИСТЕМАМИ

С.А. Баркалов, В.Е. Белоусов, Нуен Тхань Ньян

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж, Россия

Дается систематическое описание ресурсно-временного анализа при автоматизированном управлении сложными системами с учетом потребления ресурсов. Необходимость учета альтернатив по ресурсам в существующих моделях вынуждает отказаться от сетевой постановки задач, что затрудняет использование метода ветвей и границ в случаях, когда требуется выбрать последовательности выполнения работ неделимыми ресурсами. Поэтому требуется преобразование ресурсной модели для упрощения временного анализа и определение наиболее рациональных способов ветвления при назначении ресурсов, обладающих различными свойствами.

В основе предлагаемого подхода и построений лежат определяемые ресурсные модели, элементами которых являются обобщенные сетевые модели и более общие временные модели. Ставится задача аппроксимации исходной ресурсной модели более простыми временными при ограничении на их количество. Показано, что ветвление должно рассматриваться в тесном единстве с обратной операцией – агрегированием. Ресурсно-временной анализ представляется в виде гибкого процесса, в ходе которого должен происходить диалог с одной стороны с потребителями – специалистами в области организации, технологии и управления производством работ с целью корректировки ресурсных и сетевых ограничений, с другой – с ЭВМ при проведении ресурсного и временного анализа РМ, ее частей или их преобразований.

Ключевые слова: алгоритм, задача, класс, модели, процесс, планирование, ресурс.

Введение

Проблеме использования метода ветвей [1] и границ для случая, когда требуется выбрать последовательности выполнения работ неделимыми ресурсами, посвящены статьи [2, 3]. В них продемонстрирован ряд способов преобразования ресурсной модели (РМ) для упрощения временного анализа и рассмотрены наиболее рациональные способы ветвления при назначении ресурсов, обладающих различными свойствами.

Однако необходимость учета альтернатив по ресурсам вынуждает отказаться от сетевой постановки задач. Вместе с тем возврат к сетевым моделям и их обобщениям на качественно новом уровне позволяет расширить область их применения. Поэтому предлагается представить ресурсно-временной анализ как сочетание ресурсного анализа (т. е. проведения последовательности преобразований РМ, включая ветвление для частичного назначения ресурсов) и временного анализа (т. е. получения оценок для выбора наиболее перспективного узла для ветвления).

Постановка задачи

Будем предполагать, что даны два конечных множества X, Z, причем $X \neq \varnothing$, $X \cap Z \neq \varnothing$. Обозначим через Θ пространство функций размерности $|X| + |Z|$, определенных на множестве $X \cup Z$, а произвольную функцию $T \in \Theta$ будем считать планом. Каждый элемент x множества X интерпретируется как идентификатор события, которое может означать начало, окончание работ или их частей и т. д. Для плана T координата T_x представляет время наступления события x. Каждый элемент $z \in Z$ понимается как идентификатор ресурса с непрерывной шкалой интенсивностей. Число T_z, (темп), представляет величину, обратную интенсивности. Предполагается, что в процессе выполнения работы темп T_z не может быть изменен, хотя может быть выбран из данного диапазона $[l_z, L_z]$ на этапе планирования. Продолжительность работы (*x*, *y*) равна bT_z, где *b* – объем потребления ресурса *z* на работе (*x*, *y*). Если определен темп T_z использования ресурса, то автоматически определена и продолжительность работы, которая потребляет данный ресурс.

Тогда план *T* представлен вектором размерности $|X|+|Z|$ с координатами $\{T_x\}\ x \in X \cup Z$.

Введем понятие ресурсной шкалы через систему неравенств:

$$\{l_z \le T_z \le L_z\}_{z \in Z} \tag{1}$$

для планов *T*, где $\{l_z\}_{z \in Z}$ и $\{L_z\}_{z \in Z}$ – удовлетворяющие соотношениям $0 \le l_z \le L_z$.

Тогда временная модель (ВМ) *S* считается заданной, если определена ресурсная шкала (1) и задана конечная система условий вида:

$$T_x \le L\ \ (x \in X), \tag{2}$$

$$T_x \le l\ \ (x \in X), \tag{3}$$

$$T_x - T_y \le a\ \ x, y \in X, x \ne y), \tag{4}$$

$$T_x - T_y \le bT_z\ \ (x, y \in X, x \ne y, z \in Z), \tag{5}$$

где в правых частях стоят произвольные числа *L*, l, *a*, *b*, причем $b > 0$.

Для ВМ *S* план *T* назовем *S*-допустимым, если он удовлетворяет всем входящим в *S* соотношениям вида (1)–(5). Множество всех *S*-допустимых планов формируется через *D*(*S*). Используя временную модель *S*, можно сформулировать и решить целый ряд задач календарного планирования. Заметим, что все соотношения (1)–(5) являются линейными. Тем не менее, решая многокритериальные задачи, получают планы, не только удовлетворяющие условию Парето, но и не улучшаемые ни по одному из критериев. Примером является задача нахождения планов ранних сроков работ эквивалентной ОСМ, в следующей постановке:

$$\{T_x\}_{x \in X} \to \min.$$

Ресурсной моделью (РМ) считаем конечную совокупность ВМ:

$$R = \{S_\alpha\}_{\alpha \in \sigma}, \tag{6}$$

где σ – конечное множество альтернатив по ресурсам.

Назовем R^* исходной ресурсной моделью, если

$$R^* = \{S^*_\alpha\}_{\alpha \in \sigma^*},$$

где σ^* – множество вариантов с полным назначением ресурсов.

Для РМ (6) обозначим:

$$D(R) = \bigcup_{\alpha \in \sigma} (S_\alpha).$$

Планы $T \in D(R)$ будем считать *R*-допустимыми.

На ресурсной модели сложно поставить целый ряд задач календарного планирования. Примером оптимизационной задачи, которая решается при календарном планировании комплексов работ, является следующая задача: для ресурсной модели (РМ) *R* найти *R*-допустимый план, доставляющий оптимум некоторому векторному критерию Ф. Прямой анализ множества *D*(*R*) часто не представляется возможным из-за большого количества альтернатив по ресурсам, а возможно и по интенсивностям их использования [4–6].

Один из подходов к решению подобных задач связан с применением схемы ветвей и границ. Для эффективного ее использования необходимо указать способы ветвления, т. е. разбиения множества на подмножества, и способы получения оценок на подмножествах в соответствии с критерием Ф.

Преобразования ресурсных моделей

Будем говорить, что РМ R' подчинена ресурсной модели $R(R' < R)$, если $D(R') \subset D(R)$. Если при этом $D(R') \ne D(R)$, то модель R' будем считать более жесткой по сравнению с моделью *R*. Если же $D(R') = D(R)$, то модели *R и R′* будем называть эквивалентными.

Множество *D*(R^*), где R^* – исходная модель, разбивается на конечное, но достаточно большое число подмножеств $D(S_{\alpha^*})$, удовлетворяющих системам линейных неравенств. Используя некоторые свойства модели (например, частичное назначение ресурсов), можно R^* разбить на подмножества, у которых $D(R_1),\ldots,D(R_k)$ будут такими, что $D(R^*)$ содержит все $D(R_i)$ и каждое $D(S_{\alpha^*})$ входит в состав некоторого $D(R_i)$. Таким образом, R_i представляет собой РМ, промежуточную между исходной РМ и ВМ S_{α^*}. Множества R_i конструируются так, чтобы перспективность планов, входящих в $D(R_i)$, можно было с достаточной точностью оценить, например, на основании временного анализа R_i. При проведении этого анализа R_i заменяется менее жесткой или эквивалентной временной моделью (ВМ) S. Такая замена может проводиться постепенно с помощью элементарных операций путем построения последовательности $R_i < R' < R'' < \ldots < S$.

Заметим, что каждое ограничение (1)–(4) определяется линейной формой $f(T)$ в левой части и значением правой части. Всего таких форм не более двух: $(|X|+|Z|)+|X|(|X|-l)$.

Пусть даны линейная форма $f(T)$ и РМ R. Рассмотрим варианты вхождения формы $f(T)$ в $S_\alpha \in R$. В S_α может входить одно или несколько неравенств одного из видов (1)–(4), в которых присутствует $f(T)$. Из двух таких неравенств $(T) < A$, $f(T) < A'$ без ущерба может быть отброшено то, для которого правая часть больше (если $A' \geq A$, то второе неравенство является лишним). В некоторых случаях (имея в виду дальнейшее преобразование РМ) целесообразно оставлять второе неравенство с тем, чтобы отбросить первое, переходя к менее жесткой РМ. Заметим, что множество вхождений формы $f(T)$ в S_α может оказаться и пустым.

Рассмотрим способы перехода к более простым и в то же время эквивалентным РМ. Если для некоторого $z \in Z$ имеем $l_z = L_z$, то (5) может быть заменено двумя неравенствами вида (4):

$$\begin{cases} T_x - T_y \leq bL_z, \\ T_y - T_x \leq -bl_z, \end{cases} \tag{7}$$

что облегчает проведение временного анализа.

Пусть в ВМ S на работе (x, y) используются ресурсы z, z'. Тогда:

$T_x - T_y = b_1 T_z$ и $T_x - T_y = b_2 T_z$.

Пусть, кроме того, ресурс z' используется на работе:

(x', y'): $T_{x'} - T_{y'} = b_3 T_z$.

Добавим равенство:

$T_{x'} - T_{y'} = b_4 T_z$, где $b_4 = b_1 b_3 / b_2$.

Получим ВМ, эквивалентную S.

Пусть в ВМ на работе (x, y) используются ресурсы z, z'. Это означает, что:

$l \leq T_z \leq L$, $l' \leq T_{z'} \leq L'$, $T_x - T_y = bT_z$, $T_x - T_y = b'T_{z'}$.

Целесообразно рассматривать пересечение темповых диапазонов. Вместо неравенства $l \leq T_z \leq L$ при работе с моделями следует взять неравенство

$$\max\left\{l, \frac{b'l}{b}\right\} \leq T_z \leq \min\left\{L, \frac{b'L}{b}\right\}.$$

Аналогично для $T_{z'}$ получаем ВМ, эквивалентную исходной.

Операция дробления темпового диапазона. Пусть для $S_\alpha \in R$ при некотором $z \in Z$ имеет место строгое неравенство $l_z < L_z$. Рассмотрим $l \in (l_z\ L_z)$ и заменим ВМ S_α на две ВМ $S_{\alpha'}$ и $S_{\alpha''}$, отличающиеся от S_α тем, что неравенство (1) при данном z в $S_{\alpha'}$ заменено на $l_z < T_z < l$, а в $S_{\alpha''}$ – на $l < T_z < L_z$. Операция дробления позволяет получить РМ R', эквивалентную модели R, с целью использования ее в дальнейшем при анализе по схеме ветвей и границ. В предельном случае мы получаем замену ВМ на бесконечное множество обобщенных сетевых моделей (ОСМ) $S_{\alpha'}$ с фиксированными темпами использования ресурсов, т. е. с равенствами $l_z = L_z$ и неравенствами (7).

Операция обобщения. Пусть дана РМ (6) и форма *f*. Неравенство $f(T) \le A$ будем считать общим для *R*, если оно входит во все S_α, $\alpha \in \sigma$. Прочие неравенства, содержащие *f*, будем считать частными. Определим новую РМ $R' > R$ отбрасыванием из *R* всех частных неравенств, содержащих *f*. Эту процедуру назовем операцией обобщения. Если некоторое S_α не содержит неравенства с формой *f*, то *R′* также не будет содержать ни одного такого неравенства. Если же каждое S_α содержит хотя бы одно такое неравенство, то прежде чем проводить операцию обобщения, полезно в каждую S_α включить неравенство $f(T) \le M$, где *M* – максимум правых частей по всем вхождениям *f* в *R*. В этом случае все $S_{\alpha'}$ будут содержать данное неравенство, причем никаких других неравенств с формой *f* они содержать не будут.

Операция слияния темпового диапазона. Эта операция является частным случаем операции обобщения с предварительной максимизацией правых частей и касается неравенств (1) для фиксированного *z*. Каждая $S_{\alpha'} \in R'$ получается из S_α заменой неравенства (1) на $l_{z^*} < T_{z^*} < L_{z^*}$, где $l_{z^*} = \min\limits_\alpha l_z$, $L_{z^*} = \max\limits_\alpha L_z$.

Операция перехода к переменному темпу. В ВМ *S* равенства (5) при фиксированном T_z заменяются на два неравенства (8):

$$\begin{cases} T_x - T_y \le bL_z, \\ T_y - T_x \le -bl_z. \end{cases} \qquad (8)$$

Если бы ресурс *z* обслуживал только одну работу (*x*, *y*), то новая ВМ *S′* оказалась бы эквивалентной *S*, поскольку темп может быть произвольным. Но если работ, обслуживаемых ресурсом *z*, несколько, то неравенства (8) означают, что по каждой работе задается свой темп использования ресурса *z*. Тем самым мы переходим к менее жесткой ВМ. Удобство может состоять в том, что, когда мы сделаем переменный темп для всех ресурсов, в ВМ не останется ни одного равенства типа (5) и она превратится в обобщенную сетевую модель (ОСМ), которая более удобна с точки зрения временного анализа.

Операция назначения ресурса *z*. Возьмем в ВМ *S* произвольное значение с темпа T_z в пределах, определяемых неравенством (1), и заменим (1) на $c \le T_z \le c'$.

Теперь неравенство (3) можно заменить на пару неравенств $T_z \le c$ и $-T_z \le -c$. Назначив все ресурсы $z \in Z$, получим ОСМ, для которой легко провести временной анализ и, если допустимые планы существуют, получить «пессимистическую» оценку.

Поскольку каждая $S_\alpha \in R$, рассматриваемая как РМ, является более жесткой, чем *R*, то ужесточение ресурсов в S_α приведет к получению ОСМ также более жесткой, чем *R*. Этого достаточно для пессимистической оценки *R*.

Виды ресурсных ограничений

Рассмотрим особенности, которые возникают при учете различных видов ресурсных ограничений как на начальной стадии определения исходной РМ, так и на этапах разбиения ее на подмножества ВМ.

Ограничения порогового типа. Пусть ресурс *z* используется на нескольких работах (или их частях):

$$(x_1, y_1), (x_2, y_2), \ldots, (x_n, y_n) \qquad (9)$$

и может иметь любую интенсивность из отрезка $[I_0, I_1]$ положительной полуоси. Это означает, что ресурс может потребляться в любом темпе из отрезка $[l, L]$, где $l = 1/I_1$, $L = 1/I_0$. Однако если темп выбран, то он считается неизменным в процессе выполнения обслуживаемых ресурсов *z* работ. Пусть $b_1, b_2, \ldots, b_n$ – объемы потребления ресурса на работах (9). Использование ресурса в темпе $T_z \in [l, L]$ приводит к тому, что на работы (9) будут затрачены $b_1T_z, b_2T_z, \ldots, b_nT_z$ единиц времени соответственно, что описывается неравенствами (1) и (5). Никаких альтернатив здесь нет, если нас устраивает ВМ (1)–(5). Они возникнут лишь в том случае, если при временном анализе потребуется освободиться от несетевых равенств (5).

С помощью операции перехода к переменному темпу можно получить менее жесткую ОСМ и подвергнуть ее анализу. Если эта оценка слишком груба, надо произвести дробление темпового диапазона, разбив диапазон $[l, L]$ на два отрезка, например, $\left[l, \frac{L+l}{2}\right]$ и $\left[\frac{L+l}{2}, L\right]$.

Временной анализ каждой новой, более жесткой ВМ, несомненно, будет более точен. Деление можно продолжать до тех пор, пока границы $[l', L]$ не станут практически неразличимы.

Случай дискретного множества интенсивностей. Предположим, что вместо диапазона $[l, L]$ задан конечный набор допустимых темпов использования ресурса $\Lambda = \{\lambda_1, \ldots, \lambda_m\}$, $0 < \lambda_1 < \ldots < \lambda_m$ и можно выбрать любое $T_z \in \Lambda$. Осуществив такой выбор, мы будем иметь равенства сетевого характера:

$$T_{x_i} - T_{y_i} = b_i T_z.$$

В результате для каждого z получим m ОСМ. Число m может оказаться слишком большим. В этом случае можно подобно тому, как это делалось в предыдущем разделе, исследовать ВМ, у которой неравенство (1) примет вид:

$$\lambda_1 \le T_z \le \lambda_m. \tag{10}$$

Разрешая величине T_z принимать непрерывные значения (10) вместо дискретных, мы получаем линейную задачу вместо переборной. При этом для получения более точной оценки операцию дробления можно заменить рассмотрением более жестких ВМ, соответствующих двум темповым интервалам $[\lambda_1, \lambda_i]$ и $[\lambda_{i+1}, \lambda_m]$.

Проблема выбора порядка обслуживания работ. Предположим, что имеется неделимый ресурс z, который обслуживает ряд работ или их частей $(x_1, y_1), \ldots, (x_n, y_n)$, причем порядок их выполнения заранее не определен.

Пусть π – перестановка из n чисел 1, …, n. Для того чтобы потребовать выполнение работ в порядке

$$(x_{\pi_1}, y_{\pi_1}), \ldots, (x_{\pi_n}, y_{\pi_n}), \tag{11}$$

достаточно задать ограничения транспортного типа:

$$T_{y_{\pi_1}} \le T_{x_{\pi_2}}, T_{y_{\pi_2}} \le T_{x_{\pi_3}}, \ldots, T_{y_{\pi_{n-1}}} \le T_{x_{\pi_n}}. \tag{12}$$

Число перестановок растет очень быстро при увеличении n. Поэтому возникает необходимость постепенного дробления множества перестановок при исследовании РМ для данного n. Сделать это можно косвенным путем при помощи последовательного включения неравенств (12).

Предположим, на первом шаге разбиваем $R = \{S_\alpha\}$ на два класса R' и R''. К R' отнесем все S_α, для которых $T_{y_1} < T_{x_2}$, ко второму – все S_α, для которых $T_{y_2} < T_{x_1}$.

Продолжая ветвление в классе R', добавим к $T_{y_1} < T_{x_2}$ одно из неравенств: $T_{y_1} < T_{x_3}$ или $T_{y_3} \le T_{x_2}$. Если выбрано $T_{y_1} < T_{x_3}$, на следующем шаге рассмотрим неравенства $T_{y_2} < T_{x_3}$ или $T_{y_3} < T_{x_2}$. После выбора второго из этих неравенств неравенство $T_{y_1} < T_{x_2}$ становится лишним, и его можно отбросить. Очевидно, что двоичным ветвлением можно просмотреть все множество перестановок.

Требование непрерывности использования неделимого ресурса. В тех случаях, когда простой ресурса недопустим, наряду с определением порядка обслуживания работ (11) надо указать, что следующая работа должна начаться тотчас же по окончании предыдущей работы. Формально это значит, что к неравенствам (12) следует добавить «противоположные» неравенства:

$$T_{x_{\pi_2}} \le T_{y_{\pi_1}}, T_{x_{\pi_3}} \le T_{y_{\pi_2}}, \ldots, T_{x_{\pi_n}} \le T_{y_{\pi_{n-1}}}. \tag{13}$$

Здесь при постепенном назначении неравенств (12), (13) требуется более тонкий подход. Пусть, например, на первом шаге выбрано $T_{y_1} \le T_{x_2}$. Тогда, выбрав на втором шаге $T_{x_2} \le T_{y_1}$, мы четко указываем, что вторая работа должна выполняться сразу же после окончания первой работы. Альтернатива этому не имеет простого выражения в виде формул (4), приходится использовать строгое неравенство, имея в виду в будущем обязательно вставить между первой и второй работой какую-то другую. Один из подходов заключается в том, чтобы сначала зафиксировать работу, которая будет выполняться первой, затем – работу, которая будет второй, и т. д. Наиболее эффективный способ определяется конкретными особенностями задачи.

Сочетание различных ресурсов. Следует заметить, что на одной и той же работе может использоваться несколько ресурсов. Никаких препятствий для предлагаемого здесь теоретического аппарата не возникает. Более того, один и тот же ресурс может относиться к двум видам (P, Q). Это значит, что требуется определить как темп потребления ресурса, так и порядок обслуживания работ. Такой ресурс можно трактовать и как два различных ресурса. При использовании схемы ветвей и границ вместо полной детализации сначала по одному ресурсу, затем по другому и т. д. в ряде задач целесообразно чередование частичного назначения по различным ресурсам.

Выводы

В статье рассмотрены способы преобразования задач календарного планирования: декомпозиция, агрегирование и т. п. Возможности и правила преобразования задач в разных областях человеческой деятельности впервые были сформулированы Р. Декартом в «Правилах для руководства ума». Эти идеи лежат и в основе метода ветвей и границ. В данной работе рассмотрены способы преобразования для аппроксимации задач календарного планирования линейными и сетевыми задачами. Показано, что ветвление должно рассматриваться в тесном единстве с обратной операцией – агрегированием. Ресурсно-временной анализ представляется в виде гибкого процесса, в ходе которого должен происходить диалог с одной стороны с потребителями – специалистами в области организации, технологии и управления производством работ с целью корректировки ресурсных и сетевых ограничений, с другой – с ЭВМ при проведении ресурсного и временного анализа РМ, ее частей или их преобразований.

Литература

1. Бурков В.Н., Кондратьев В.В. Механизмы функционирования организационных систем / В.Н. Бурков, В.В. Кондратьев. – М.: Наука, 1981.

2. Большие системы: моделирование организационных механизмов / В.Н. Бурков, Б. Данев, А.К. Еналеев и др. – М.: Наука, 1989. – 245 с.

3. Бурков, В.Н. Теория активных систем: состояние и перспективы / В.Н. Бурков, Д.А. Новиков. – М.: Синтег, 1999. – 128 с.

4. Баркалов, С.А. Алгоритм расчета временных параметров графа и прогнозирование срока завершения моделируемого процесса / С.А. Баркалов, Нгуен Ван Жанг, Нгуен Тхань Жанг // Системы управления и информационные технологии. – 2013. – № 3.1 (53). – С. 116–119.

5. Белоусов, В.Е. Алгоритм для оперативного определения состояний объектов в многоуровневых технических системах / В.Е. Белоусов, С.А. Кончаков // Экономика и менеджмент систем управления. – 2015. – № 3.2 (17). – С. 227–232.

6. Аксененко, П.Ю. Алгоритм для анализа вариантов решений в многокритериальных задачах / П.Ю. Аксененко, В.Е. Белоусов, С.А. Кончаков // Системы управления и информационные технологии. – 2015. – № 4 (62). – С. 31–33.

Баркалов Сергей Алексеевич, д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой управления строительством, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж; barkalov@vgasu.vrn.ru.

Белоусов Вадим Евгеньевич, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры управления строительством, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж; belousov@vgasu.vrn.ru.

Нуен Тхань Ньян, аспирант кафедры управления строительством, Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж; eng@gmail.com.

Поступила в редакцию 15 августа 2019 г.

DOI: 10.14529/ctcr190410

THE RESOURCE AND TIME ANALYSIS IN PROBLEMS OF SCHEDULING AT AUTOMATED MANAGEMENT OF THE COMPLEX SYSTEMS

***S.A. Barkalov**, barkalov@vgasu.vrn.ru,*
***V.E. Belousov**, belousov@vgasu.vrn.ru,*
***Nguen Thanh Nhan**, eng@gmail.com*
Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

In the present article the systematic description of resource timing analysis at automated management of the complex systems taking into account consumption of resources is given. Need of accounting of alternatives on resources in the existing models forces to refuse network statement of tasks that complicates use of a method of branches and borders in cases when the sequence of performance of work needs to choose as indivisible resources. Therefore transformation of resource model for simplification of timing analysis and definition of the most rational ways of branching at purpose of the resources having various properties is required.

At the heart of the offered approach and constructions defined resource models which elements are the generalized network models and more common temporary models lie. The task of approximation of initial resource model more prime temporary is set at restriction for their quantity. It is shown that branching has to be considered in close unity with the return operation – aggregation. The resource and time analysis is presented in the form of flexible process during which there has to be a dialogue on the one hand to consumers – experts in the field of the organization, technology and production management of works with the purpose of correction of resource and network restrictions, to another – to the COMPUTER when carrying out resource and timing analysis of RM, its parts or their transformations.

*Keywords: algorithm, task, class, models, process, planning, resourc*e.

References

1. Burkov V.N., Kondratyev V.V. *Mekhanizmy funktsionirovaniya organizatsionnykh sistem* [Mechanisms of Functioning of Organizational Systems]. Moscow, Science Publ., 1981. 384 p.
2. Burkov V.N., Danev B., Enaleev A.K., et al. *Bol'shie sistemy: modelirovanie organizatsionnykh mekhanizmov* [Big Systems: Modeling of Organizational Mechanisms]. Moscow, Science Publ., 1989. 245 p.
3. Burkov V.N., Novikov D.A. *Teoriya aktivnykh sistem: sostoyanie i perspektivy* [Theory of Active Systems: State and Prospects]. Moscow, SINTEG Publ., 1999. 128 p.
4. Barkalov S.A., Nguyen Wang Rangg, Nguyen Than Rangg. [An Algorithm of Calculation of Temporary Parameters of the Count and Forecasting of a Date of Completion of the Modelled Process]. *Control Systems and Information Technologies*, 2013, no. 3.1 (53), pp. 116–119. (in Russ.)
5. Belousov V.E., Konchakov S.A. [An Algorithm for Expeditious Definition of Conditions of Objects in Multilevel Technical Systems]. *Economy and Management of Control Systems*, 2015, no. 3.2 (17), pp. 227–232. (in Russ.)
6. Aksenenko P.Yu., Belousov V.E., Konchakov S.A. [An Algorithm for the Analysis of Versions of Decisions in Multicriteria Tasks]. *Control Systems and Information Technologies*, 2015, no. 4 (62), pp. 31–33. (in Russ.)

Received 15 August 2019

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Баркалов, С.А. Ресурсно-временной анализ в задачах календарного планирования при автоматизированном управлении сложными системами / С.А. Баркалов, В.Е. Белоусов, Нуен Тхань Ньян // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2019. – Т. 19, № 4. – С. 109–115. DOI: 10.14529/ctcr190410

FOR CITATION

Barkalov S.A., Belousov V.E., Nguen Thanh Nhan. The Resource and Time Analysis in Problems of Scheduling at Automated Management of the Complex Systems. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2019, vol. 19, no. 4, pp. 109–115. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr190410