

О ДЕКОМПОЗИЦИИ ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ СОГЛАСОВАННЫХ РАСПИСАНИЙ В ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

УДК 004.02.021

Алексей Сергеевич Добрынин,
зав. лаб. кафедры автоматизации и информационных систем,
старший преподаватель
Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ)
Тел.: (3843) 78-43-76
Эл. почта: serpentfly@mail.ru

Роман Сергеевич Коынов,
зав. сектором, старший преподаватель
Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ)
Тел.: (3843) 78-43-76
Эл. почта: koynov_rs@mail.ru

Станислав Матвеевич Кулаков,
д.т.н., профессор, зав. кафедрой автоматизации и информационных систем
Сибирский государственный индустриальный университет (СибГИУ)
Тел.: (3843) 74-88-06
Эл. почта: kulakov-ais@mail.ru

Большинство постановок задач составления расписаний при планировании операций или работ не учитывают фактора активности, связанного с проектной деятельностью отдельных агентов. Опираясь на элементы открытого (согласованного) управления и стимулирования теории активных систем, в статье приводится конкретизация и декомпозиция новой задачи составления расписаний, принципиальное отличие которой от представленных ранее в литературе (в том числе, ранее опубликованных работах авторского коллектива [3,4,5]) заключается в использовании элементов согласования непосредственно в целевых функциях синтеза расписаний. Эволюция подходов составления расписаний предполагает переход от чисто технических аспектов синтеза к семантико-техническим системам, функционирующим с учетом «человеческого фактора» в условиях значительной неопределенности.

Ключевые слова: распределение работ, расписание, ИТ-сервис, планирование работ, управляющий центр.

Alexey S. Dobrynin,
Post-graduate student, senior teacher
Siberian State Industrial University (SibSIU)
Tel.: (3843) 78-43-76
E-mail: serpentfly@mail.ru

Roman S. Koynov,
Post-graduate student, senior teacher
Siberian State Industrial University (SibSIU)
Tel.: (3843) 78-43-76
E-mail: koynov_rs@mail.ru

Stanislav M. Kulakov,
Doctorate of Technical Sciences, Professor
Siberian State Industrial University (SibSIU)
Tel.: (3843) 74-88-06
E-mail: kulakov-ais@mail.ru

ON DECOMPOSITION OF PROBLEM OF CONSTRUCTING THE AGREED TIMETABLE IN PROJECT ACTIVITIES

Most productions scheduling problems in the planning of operations or works do not consider the factor of activity associated with the project activities of individual agents. Based on the elements of an open (agreed) management and to promote the theory of active systems, the article presents specification and decomposition of the new task scheduling, which is a fundamental difference from earlier in the literature (including the previously published works of authors [3,4,5]) is the use of matching elements in target functions synthesis schedules. Evolution of approaches scheduling involves the transition from a purely technical aspects of the synthesis to the semantic and technical systems, taking into account the functioning of the «human factor» in the face of considerable uncertainty.

Keywords: distribution of work, schedule, IT service, scheduling, control center.

1. Общая постановка задачи

В соответствии с теорией управления организационными системами [2] (ранее, – теорией активных систем), управление деятельностью агентов двухуровневой активной системы, состоящей из руководящего центра и множества агентов – исполнителей работ, осуществляется на основе планирования, в частности – составления расписаний процесса выполнения проекта (комплекса работ). При этом центр может запрашивать у агентов информацию о составе, структуре и длительности выполнения работ, а также о предпочтительных интервалах времени их проведения. Схема организационного взаимодействия между центром и исполнителями работ представлена на рисунке 1.

Можно выделить три этапа информационного обмена (согласования) в данной системе, конечным результатом которого является расписание, представленное конкретным исполнителям работ центром.

На *первом этапе* управляющий центр определяет состав, структуру, перечень используемых активов и длительности проведения работ. В зависимости от степени информированности центра о сложностях комплекса работ, накопленного опыта их выполнения могут быть использованы две основные стратегии формирования перечня (списка, графа) работ:

а) *Стратегия детерминизма*. Вариант, когда управляющий центр обладает всей полнотой информации о составе, структуре и продолжительности отдельных работ в составе выполняемого проекта (комплекса работ), на базе прошлого опыта или уникальных знаний менеджмента. В рамках данной стратегии решение о составе, структуре и сроках проведения работ принимают специалисты центра во главе с ЛПР. Данная стратегия применима для регулярно повторяющихся хорошо изученных работ.

б) *Стратегия согласования*. Принятие решений в условиях значительной неопределенности, при недостатке знаний и опыта выполнения аналогичных проектов (комплексов работ). Решение о составе, структуре и длительностях проведения работ принимает ЛПР [1] с использованием оценок и предложений непосредственных исполнителей работ, обладающих уникальными знаниями и специфическими умениями в той области, к которой относится проект (комплекс работ). В дальнейшем будем предполагать, что данная стратегия является основной или комбинируется с детерминированной стратегией.

На втором этапе согласования центр выявляет рейтинг, а также пожелания исполнителей проекта (комплекса работ), связанные с предоставлением для конкретных работников, укрупненных групп

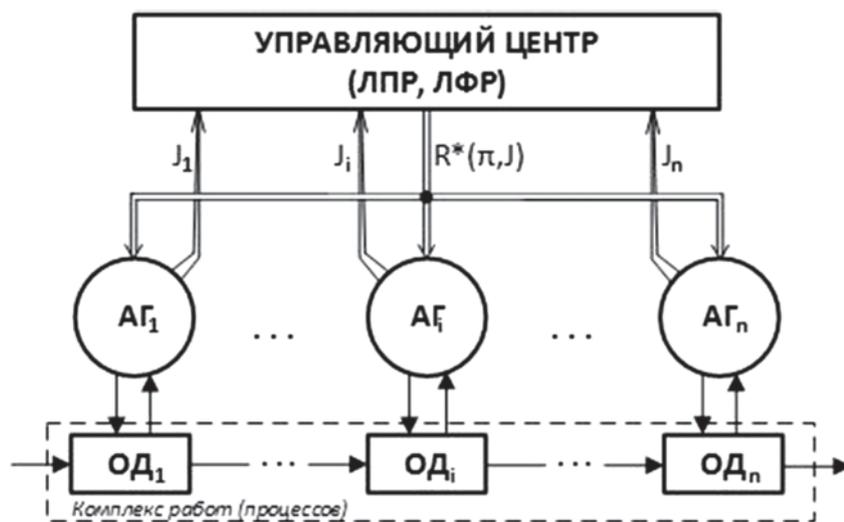


Рис. 1. Схема взаимодействия управляющего центра, агентов и объектов их деятельности

(ЛПР – лицо, принимающее решение; ЛФР – лицо, формирующее решение (помощник ЛПР), J_i – информация предоставляемая центру агентом $АГ_i$; $R^*(\pi, J)$ – расписание работы агентов, полученное в результате реализации процедуры π планирования; $ОД_i$ – объект деятельности агента $АГ_i$ не обладающий свойством активности – машины, агрегаты, инструменты и т.п.)

работников или подразделений организации-исполнителя, а также – до исполнителя предпочтительных графиков их работы. Подобные пожелания могут быть заданы в виде временных матриц, представленных в рассматриваемой задаче в форме «мягких» (soft) ограничений или в составе критериев оптимальности расписания.

На третьем этапе центр формирует согласованное расписание $R(\pi, J)$, с учетом пожеланий и рейтинга отдельных исполнителей. Построение согласованного расписания осуществляется в интерактивном режиме лицо, формирующее решение (ЛФР), в частности – помощник ЛПР, с помощью модельно – алгоритмического комплекса, описанного в работах [3,4,5].

Известные постановки задач составления расписаний не учитывают пожелания оценки и предложения исполнителей работ – агентов, заинтересованных в достижении собственных целей, которые могут не совпадать с целью центра. Рассматриваемая постановка задачи в общем виде содержит элементы согласованного управления, заданные в форме мягких ограничений и критериев оптимальности. Подобный класс задач построения согласованных расписаний поз-

воляет создавать комфортный для исполнителей, а также для заказчика проекта график работ. Обобщенная постановка задачи составления согласованного расписания опирается на вышеизложенные этапы и использует следующие идеи:

1) Все проектные активы разбиваются на два основных класса:

а) Активы-исполнители (люди или агенты $\{АГ_i\}$), каждый из которых обладает уникальным множеством компетенций и целеустремленным поведением, представленных некоторой ролью или набором ролей. Совокупность ролей образует возможности и знания исполнительского коллектива в целом.

б) Активы-ресурсы A_r , каждый из которых используется особым специфическим образом в ходе проведения работ (основные технические средства, расходные материалы, энергия и т.д.). Каждый ресурс может относиться к одному из трех разновидностей:

– ресурс одновременного использования, то есть ресурс, используемый в рамках одной работы;

– последовательный ресурс – ресурс непрерывного использования (основное средство) не более чем в одной работе на заданном отрезке времени τ .

– параллельный ресурс – ресурс непрерывного использования более чем в одной работе на интервале τ .

2) С каждой работой связана совокупность ролей, которая определяет весь перечень компетенций агентов, необходимых для выполнения работы и совокупность ресурсов, используемых в качестве материалов, машин, энергоносителей и т.д.

Учитывая вышеизложенное, представим формализованное описание (математическую постановку) общей задачи составления согласованного расписания $R^*(\pi, J)$, которая синтезирована с учетом ранее проведенных исследований [3,4,5].

Дано:

1. Вектор работ (процессов) \overline{JB} , для которых справедливы принципы:

а) композиции или агрегирования, когда отдельная работа (процесс) может включать в себя перечень более простых работ (подпроцессов) $JB_i \equiv \{jb_{i1}, jb_{i2}, \dots, jb_{in}\}$, и наоборот, простые работы или подпроцессы могут укрупняться (агрегироваться);

б) связности, когда для двух различных процессов JB_i и JB_j справедливо соотношение (1):

$$\gamma_{JB_i, JB_j} = \begin{cases} 1, & \text{если } JB_i \rightarrow JB_j \\ -1, & \text{если } JB_j \rightarrow JB_i \\ 0, & \text{если } JB_i \text{ и } JB_j \\ & \text{независимы} \end{cases} \quad (1)$$

указатели связности формируются управляющим центром в соответствии со стратегией детерминизма и (или) согласования с учетом уникальности проекта (комплекса работ).

2. Орграф $\overline{G} = (\overline{V}, \overline{E})$, который характеризует последовательность выполнения работ $jb_i \equiv e_i \in \overline{E}$. Формируется центром на основе соотношения (1).

3. Вектор ролей \overline{ROL} , характеризующий полный перечень компетенций, необходимых для выполнения всего комплекса работ проекта. Каждая роль объединяет в себе совокупность простых \overline{O} операций и навыков, которыми владеет технический персонал.

4. Вектор ресурсов \overline{RES} , описывающий всё множество активов, в соответствии с принятой формой

классификации (бухгалтерской, управленческой и т.д.).

5. Векторы ролей \overline{ROL}_{jb} и ресурсов \overline{RES}_{jb} для каждой работы jb , формируемые центром с использованием общих справочников \overline{ROL} , \overline{RES} , каждый из которых индивидуален для отдельного проекта.

6. Множество исполнителей (агентов) AG_i , каждый из которых может выполнять одну или несколько ролей (владеть набором компетенций) $AG_i \in \{ROL_{ag} \in \overline{ROL}\}$;

7. Согласованная минимальная, средняя и максимальная нормативная длительность отдельных работ (процессов) $T_{min}, T_{max}, T_{avg}$.

8. Минимальный интервал времени ΔT (временной слот, окно), представляющий собой отрезок непрерывного времени $[t, t + \Delta T]$, кратный установленным суточным, сменным и часовым отрезкам времени.

9. Жесткие ограничения, связанные с периодичностью выполнения работ исполнителями, представленные в виде матрицы работ и простоев. В задачах построения производственных и иных расписаний целесообразно использовать интерпретацию, когда известно, что производственные процессы четко привязаны к конкретным дням d недели, выражение (2).

$$HC[d, (t, t + \Delta T)] = \begin{cases} 1, & \text{допустимо размещение элемента работы;} \\ 0, & \text{размещение не допускается} \end{cases} \quad (2)$$

10. Мягкие ограничения, определяемые на этапе согласования решений центра разработки и внедрения проекта и исполнителей проекта AG_i , (3).

$$SC_{ag}[d, (t, t + \Delta T)] = \begin{cases} 1, & \text{размещение предпочтительно для } AG_i; \\ 0, & \text{размещение не допускается} \end{cases} \quad (3)$$

Введем логическую переменную μ_{ag} принимающую единичное значение, если ограничение SC_{ag} нарушено.

11. Критерий оптимальности расписания. Двухкомпонентный, $Q = \{Q_1, Q_2\}$

а). Совокупное время выполнения всех процессов проекта

$$Q_1 = t^{end} - t^{st} \rightarrow \min \quad (4)$$

б) Количество невыполненных или измененных центром мягких ограничений

$$Q_2 = \sum_{ag=1}^{AG} \mu_{ag} \rightarrow \min \quad (5)$$

Требуется:

Построить согласованное, оптимальное по критерию Q , расписание R^* , удовлетворяющее всем перечисленным, в том числе временным, ограничениям.

2. Декомпозиция

Поскольку решение представленной выше общей сложной задачи связано с большими трудностями, в том числе вычислительными (представленная задача является NP-трудной), целесообразно выполнить ее декомпозицию на ряд более простых (частных) задач. Декомпозированное дерево частных, более простых задач, представлено на рисунке 2.

Рассмотрим постановки частных задач составления расписаний.

2.1. Задача построения непрерывного частично согласованного расписания, $чс - \text{расписания } R_{чс}$

Дано:

1. Вектор работ (процессов) \overline{JB} , для которых справедливы принципы:

а) композиции или агрегирования, когда отдельная работа (процесс) может включать в себя перечень более простых работ (подпроцессов) $JB_i \equiv \{jb_{i1}, jb_{i2}, \dots, jb_{in}\}$; и наоборот, простые работы или подпроцессы могут укрупняться (агрегироваться);

б) связности, когда для двух различных процессов JB_i и JB_j справедливо соотношение (1).

2. Орграф $G = (V, \overline{E})$, который характеризует последовательность выполнения работ $jb_i \equiv e_i \in \overline{E}$. Формируется центром на основе соотношения (1).

3. Согласованная минимальная, средняя и максимальная нормативная длительность отдельных работ (процессов) $T_{min}, T_{max}, T_{avg}$.

4. Критерий: совокупное время выполнения всех работ проекта

$$Q_1 = t^{end} - t^{st} \rightarrow \min$$

Требуется:

Построить непрерывное, частично согласованное, расписание работ $R_{чс}^*$, с опорой на согласование сроков и порядка проведения работ между центром и исполнителями проекта.

2.2. Задача построения расписания $R_{во}^*$ в условиях временных ограничений

В отличие от задачи 2.1. (см. абзац выше) здесь учитываются жесткие временные ограничения, связанные с использованием графиков работ в реальных проектах.



Рис. 2. Декомпозиция общей задачи построения согласованного расписания

Дано:

1. Непрерывное, частично согласованное, расписание работ R_{uc}^* , полученное в результате решения задачи 1.1;

2. Минимальный интервал времени ΔT (временной слот, окно) представляющий собой отрезок непрерывного времени $[t, t + \Delta T]$, кратный установленным суточным, сменным и часовым отрезкам времени.

3. Жесткие ограничения, связанные с периодичностью выполнения работ исполнителями, представленные в виде матрицы работ и простоев. В задачах построения производственных и иных расписаний целесообразно использовать интерпретацию, когда известно, что производственные процессы четко привязаны к конкретным дням d недели.

4. Критерий: совокупное время выполнения всех процессов проекта

$$Q_1 = t^{end} - t^{st} \rightarrow \min$$

Требуется:

На базе расписания R_{uc}^* построить расписание работ R_{eo}^* , учитывающее временные ограничения, которое оптимально по критерию Q_1 . Построить расписание работ RT в условиях временных ограничений.

2.3. Задача построения полного согласованного расписания $R^*(\pi, J)$

Дано:

1. Расписание работ R_{eo}^* , выполняемых в условиях временных ограничений.

2. Вектор ролей \overline{ROL} , характеризующий полный перечень компетенций, необходимых для выполнения всего комплекса работ проекта. Каждая роль объединяет в себе совокупность простых \bar{O} операций и навыков, которыми владеет технический персонал.

3. Вектор ресурсов \overline{RES} , описывающий все множество активов, в соответствии с принятой формой классификации (бухгалтерской, управленческой и т.д.).

4. Векторы ролей ROL_{jb} и ресурсов RES_{jb} для каждой работы jb , формируемые центром с использованием общих справочников \overline{ROL} , \overline{RES} , каждый из которых индивидуален для отдельного проекта.

5. Множество исполнителей (агентов) AG_i , каждый из которых может выполнять одну или несколько ролей (владеть набором компетенций) $AG_i \in \{\overline{ROL}_{ag} \in \overline{ROL}\}$;

6. Мягкие ограничения, определяемые путем согласования действий центра разработки внедрения проекта и исполнителей проекта AG_i .

7. Критерий оптимальности расписания. Двухкомпонентный, $Q = \{Q_1, Q_2\}$

А). Совокупное время выполнения всех процессов проекта.

$$Q_1 = t^{end} - t^{st} \rightarrow \min$$

Б) Количество невыполненных или измененных центром мягких ограничений.

$$Q_2 = \sum_{ag=1}^{AG} \mu_{ag} \rightarrow \min$$

Уступки, ΔQ_1^* , устанавливаемые ЛФР по критерию Q_1 .

Требуется:

На базе расписания R_{eo}^* построить согласованное расписание $R^*(\pi, J)$ учитывающее временные ограничения, заданные ЛФР уступки по критерию Q_1 , и оптимальное по критерию Q_2 .

Решение задачи 1.3 в условиях ослабления или исключения мягких ограничений, а также изменения уступок ΔQ_1^* даст оптимальное, по Парето, решение, которым является искомое, согласованное расписание $R^*(\pi, J)$.

Заключение

Статья рассматривает новую постановку сложной задачи планирования (включая составление расписания, распределение ресурсов и т.д.), ключевое отличие которой от приведенных ранее в литературе заключается в учете факторов, слабо поддающихся формализации. Разработка эффективных методов и алгоритмов решения поставленной задачи является приоритетным направлением повышения точности управления проектной, технической и социально-экономической деятельностью.

Литература

1. Петровский А.Б. Теория принятия решений: учебник для студ.

высш. учеб. заведений / А.Б. Петровский. – М.: Издательский центр «Академия», 2009. – 400 с.

2. Бурков В.Н., Коргин Н.А., Новиков Д.А. Введение в теорию управления организационными системами / Под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. – М.: Либроком, 2009. – 264 с.

3. Добрынин А.С. Формализация задачи составления расписаний для стадии внедрения ИТ-сервиса. – С.М. Кулаков, В.В. Зимин // Научное обозрение: теория и практика. – 2013. – № 2. – С. 47–51.

4. Койнов Р.С. Об использовании принципа согласованного управления в задачах внедрения ИТ-сервиса. – А.С. Добрынин, С.М. Кулаков, В.В. Зимин // Вестник развития науки и образования. 2013. № 6. – С. 23–27.

5. Добрынин А.С. Алгоритмизация построения расписаний, учитывающих временные ограничения / А.С. Добрынин, Р.С. Койнов // Экономика, статистика и информатика. – 2014. – № 4. – С. 201–204. – Библиогр.: с. 204 (4 назв.).

References

1. Petrovskij A.B. Theory of decision-making: textbook for students / A.B. Petrovskij. – М.: Izdatel'skij centr «Akademija», 2009. – 400 s.

2. Burkov V.N., Korgin N.A., Novikov D.A. Introduction to the theory of management of organizational systems / Pod red. chl.-korr. RAN D.A. Novikova. – М.: Librokom, 2009. – 264 s.

3. Dobrynin A.S. Formalization of a problem of drawing up schedules for an IT service introduction stage. – S.M. Kulakov, V.V. Zimin // Nauchnoe obozrenie: teorija i praktika. – 2013. – № 2. – S. 47–51.

4. Koynov R.S. About use of the principle of the coordinated management in problems of introduction of IT service. – A.S. Dobrynin, S.M. Kulakov, V.V. Zimin // Vestnik razvitija nauki i obrazovanija. 2013. № 6. – S. 23–27.

5. Dobrynin A.S. Algorithmization of creation of the schedules considering temporary restrictions / A.S. Dobrynin, R.S. Koynov // Ekonomika, statistika i informatika. Vestnik UMO. – 2014. – № 4. – S. 201–204. – Bibliogr.: s. 204 (4 nazv.).