

УДК 61:004.4

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ  
ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ  
В САНАТОРНО-КУРОРТНОМ КОМПЛЕКСЕ**

**Д.Р. Богданова, Д.В. Попов**

*ГОУ ВПО «Уфимский государственный авиационный  
технический университет», г. Уфа*

*Рецензент И.Н. Дрогобыцкий*

**Ключевые слова и фразы:** календарное планирование; медико-технические требования; многоагентный подход; поддержка принятия решений; санаторно-курортный комплекс.

**Аннотация:** Рассмотрена проблема поддержки принятия решения при выборе наилучшей стратегии формирования расписания приема процедур отдыхающими в санаторно-курортном комплексе. Обоснованы медико-технические требования к созданию автоматизированной системы, предназначенной для автоматизации основных процессов, связанных с обслуживанием отдыхающих в санаторно-курортном комплексе. Разработана математическая модель принятия решений при формировании расписания прохождения процедур, и предложен многоагентный подход к решению задачи календарного планирования.

Санаторно-курортное учреждение – это сложная система, деятельность которой связана с предоставлением лечебно-оздоровительных услуг. В условиях рынка отдыхающие требуют все более качественного обслуживания и своевременности приема процедур. Перед руководством стоит проблема нахождения компромисса между эффективным использованием ресурсов и максимально полным удовлетворением потребностей клиентов. Поэтому на первый план выходит процесс поддержки принятия решений при выборе наиболее подходящего расписания.

---

Богданова Д.Р. – аспирант 2-го года обучения кафедры «Вычислительная математика и кибернетика» Уфимского государственного авиационного технического университета; Попов Д.В. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Вычислительная математика и кибернетика», декан факультета «Информатика и робототехника», докторант Уфимского государственного авиационного технического университета, г. Уфа.

Исследования такого класса социально-экономических систем представлены в работах ряда авторов [1 – 4 и др.]. Однако в силу сложности системы многие проблемы остаются открытыми. В настоящий момент одной из таких проблем является повышение эффективности работы за счет поддержки принятия решений при календарном планировании процесса прохождения процедур отдыхающими.

За последние годы наблюдается разрыв между методом назначения процедур и постоянным увеличением числа предлагаемых услуг в санаторно-курортном комплексе. Это приводит к необходимости повышения эффективности использования их постоянно растущего потенциала, на основе применения информационных технологий, основанных на последних разработках в области интеллектуальных систем при решении медико-социальных проблем. Современные экономические условия требуют существенной модернизации работы санаторно-курортных учреждений. Одним из важнейших показателей является фактор экономической рентабельности. Последняя не может быть достигнута без внедрения новых высокоэффективных технологий деятельности санаторно-курортных учреждений.

**Математическая модель принятия решений при формировании расписания прохождения процедур отдыхающими.** Приведем математическую модель принятия решений при формировании расписания прохождения процедур отдыхающими [5]. Обозначим:  $A$  – множество отдыхающих,  $|A| = n$ ;  $C$  – множество оказываемых в санатории процедур,  $|C| = m$ . Каждое событие «Прием отдыхающим процедуры» характеризуется индексами:  $i$  – номер отдыхающего;  $j$  – номер назначенной процедуры;  $d$  – конкретная дата;  $J_i^{(d)}$  – упорядоченное по времени прохождения множество процедур, назначенных отдыхающему  $i$  на день  $d$ ;  $I_j^{(d)}$  – множество отдыхающих, которым назначена процедура  $j$  в день  $d$ ;  $d_{i1}$  – дата заезда отдыхающего  $i$ ;  $d_{i2}$  – дата выписки отдыхающего  $i$ .

Пусть  $\bar{t}_{ij}^{(d)}$  – момент начала приема отдыхающим  $i$  процедуры  $j$ ;  $t_{ij}$  – время прохождения отдыхающим  $i$  процедуры  $j$ ;  $t'_{ij}$  – время отдыха до приема отдыхающим  $i$  процедуры  $j$ ;  $t''_{ij}$  – время отдыха после приема отдыхающим  $i$  процедуры  $j$ .

Введем ограничения. Процедуру  $j$  одновременно может принимать только один отдыхающий:

$$\begin{aligned} \bar{t}_{i_1 j}^{(d)} - \bar{t}_{i_2 j}^{(d)} \geq t_{i_2 j}, \text{ если } \bar{t}_{i_1 j}^{(d)} \geq \bar{t}_{i_2 j}^{(d)}, \\ \text{или } \bar{t}_{i_2 j}^{(d)} - \bar{t}_{i_1 j}^{(d)} \geq t_{i_1 j}, \text{ если } \bar{t}_{i_1 j}^{(d)} \leq \bar{t}_{i_2 j}^{(d)}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $i_1, i_2$  такие, что  $a_{i_1}, a_{i_2} \in A$ ,

$$\bar{t}_{i(j+1)}^{(d)} \geq \bar{t}_{ij}^{(d)} + t_{ij} + \max(t''_{ij}, t'_{i(j+1)}), \quad \begin{cases} T_{j1}^{(d)} \leq \bar{t}_{ij}^{(d)}; \\ \bar{t}_{ij}^{(d)} + t_{ij} \leq T_{j2}^{(d)}, \end{cases} \quad (2)$$

$$\bar{t}_{ij}^{(d)} + t_{ij} \leq T_{j2}^{(d)}, \quad (3)$$

где  $T_{j1}^{(d)}$  и  $T_{j2}^{(d)}$  – начало и конец рабочего дня  $d$  для процедуры  $j$  соответственно.

Согласно ограничению (2), процедуры должны выполняться последовательно с учетом времени отдыха. Согласно ограничению (3), процедуры отпускаются в соответствии с графиком работы процедурного кабинета.

На процесс приема процедур накладываются ограничения, обусловленные медико-техническими особенностями лечения, такими как отношения непосредственного следования и несовместимости процедур.

Пусть  $P$  – множество процедур, которые могут быть назначены отдыхающему  $i$ , где  $p \in P$  – процедура;  $\varphi: P \rightarrow J_i(d)$  – существует отображение множества процедур  $P$  в упорядоченное множество  $J_i(d)$ .

Ограничения, накладываемые на процедуры отдыхающему  $i$ , представим как отношения на множестве процедур  $P$ :

1) отношение непосредственного следования – процедура  $p'$  должна назначаться сразу за процедурой  $p$ :

$$C_1 = \{(p, p') \mid j \in J_i(d), (j+1) \in J_i(d), \varphi^{-1}(j) = p, \varphi^{-1}(j+1) = p'\};$$

2) отношение следования – процедура  $p'$  должна назначаться после процедуры  $p$ :

$$C_2 = \{(p, p') \mid j \in J_i(d), j' \in J_i(d), \varphi^{-1}(j) = p, \varphi^{-1}(j') = p', j < j'\};$$

3) отношение несовместимости – процедуры  $p'$  и  $p$  не должны назначаться в течение  $\tau$  дней:

$$C_3 = \{(p, p', \tau) \mid j \in J_i(d), \varphi^{-1}(j) = p, \exists j' \in J_i(d'), \varphi^{-1}(j') = p', d' + \tau > d\};$$

4) частные случаи отношения несовместимости – количество дней  $\tau$  равно 1 дню,

$$C_4 = \{(p, p') \mid j \in J_i(d), \varphi^{-1}(j) = p, \exists j' \in J_i(d), \varphi^{-1}(j') = p'\};$$

5) если прием процедуры  $p$  никак не связан с приемом процедуры  $p'$ , то никаких ограничений на них не накладывается, и они считаются независимыми.

Сформулируем основные критерии, которыми руководствуются лица, принимающие решения (ЛПР), при формировании расписания:

а) суммарное время простоя при прохождении отдыхающим  $i$  процедур с учетом времени отдыха до и после приема процедур в течение дня  $d$ , где  $d \in (D_1, D_2)$  – отчетный период времени:

$$L_i^{1(d)} = \sum_{j \in J_i^{(d)}} \left( \left( t_{i(j+1)}^{-(d)} - t_{ij}^{-(d)} \right) - \left( t_{ij} + \max(t_{ij}^n, t_{i(j+1)}^n) \right) \right), \quad (4)$$

где  $J_i = \bigcup_{d=d_{i1}}^{d_{i2}} J_i(d)$ .

Суммарное время простоя при прохождении всеми отдыхающими процедур с учетом времени отдыха до и после приема процедур в течение дня  $d$ :

$$L^{1(d)} = \sum_{i=1}^n L_i^{1(d)}, \quad (5)$$

$$\bar{L}^1 = \frac{\sum_{d=D_1}^{D_2} L^{1(d)}}{n(D_2 - D_1 + 1)}. \quad (6)$$

В итоге, можно оценить средневзвешенные потери времени при прохождении процедур отдыхающими за отчетный период  $(D_1, D_2)$  (6);

б) суммарное время простоя оборудования для процедуры  $j$  в течение дня  $d$  (7) и суммарное время простоя процедурных кабинетов за день  $d$  (8):

$$L_j^{2(d)} = \sum_{i \in J_j^{(d)}} (\bar{t}_{(i+1)j} - \bar{t}_{ij} - t_{ij}), \quad (7)$$

$$L^{2(d)} = \sum_{j=1}^m L_j^{2(d)}. \quad (8)$$

В итоге можно оценить средневзвешенное время простоя процедурных кабинетов:

$$\bar{L}^2 = \frac{\sum_{d=D_1}^{D_2} L^{2(d)}}{m(D_2 - D_1 + 1)}; \quad (9)$$

в) стабильное по дням расписание, для удобства отдыхающих. В случае  $d = d_{i1}$  сначала минимизируется время простоя при прохождении отдыхающим  $i$ -й процедуры (10), затем – суммарное время простоя при прохождении всеми парами отдыхающих назначенных им процедур (11):

$$L_i^{1(d)} \rightarrow \min, \quad (10)$$

$$L_i^{1(d)} + L_l^{1(d)} \rightarrow \min, \quad (11)$$

где  $i \neq l, i, l = \overline{1, n}$

Для остальных дней  $d \in (d_{i1} + 1, d_{i2})$  ставится задача поддержания «стабильности», или «ритмичности» приема им отдельных процедур (12), а также можно посчитать средневзвешенное отклонение времени начала процедур от их «привычного» для отдыхающего значения (13):

$$L^3 = \sum_{i=1}^n \sum_{d=D_1}^{D_2-1} \sum_{j \in J_i^{(d)}} \left| t_{ij}^{-(d+1)} - t_{ij}^{-(d)} \right| \rightarrow \min, \quad (12)$$

$$\bar{L}^3 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{d=D_1}^{D_2-1} \sum_{j \in J_i^{(d)}} \left| t_{ij}^{-(d+1)} - t_{ij}^{-(d)} \right|}{\left| \bigcup_{i=1}^n J_i \right| n(D_2 - D_1)}, \quad (13)$$

где  $\left| \bigcup_{i=1}^n J_i \right|$  – мощность множества назначенных процедур.

Поставим задачу поддержки принятия решений в условиях определенности. Пусть  $L^r$  – значения критериев эффективности;  $x_i$  – стратегии принятия решения (варианты расписания). Предлагается расставлять веса критериев  $\lambda_r$ ,  $\sum_{r=1}^3 \lambda_r = 1$ , которые определяют в количественной форме

степень предпочтения  $r$ -го критерия по сравнению с другими критериями, на основе метода парных сравнений. Одним из подходов к решению таких многокритериальных задач управления является применение метода аддитивной оптимизации. Пусть  $F_i(L_i^r) = \sum_{j=1}^n \lambda_r L_i^r$  – аддитивный критерий

оптимальности. Тогда исходная задача сводится к задаче однокритериальной оптимизации, решая которую мы получаем искомое расписание.

**Многоагентный подход к решению задачи.** Предлагается такой вариант решения, при котором будет задействована вся локальная сеть санаторно-курортного учреждения. С помощью автоматизированной информационной системы осуществляется ввод данных относительно графика работ по каждому процедурному кабинету, а также назначенные или измененные лечащим врачом процедуры для отдыхающих. При составлении расписания возможен один из двух способов обработки данных. Первый вариант, когда данные обрабатываются на сервере – однопроцессорная обработка данных. Второй вариант – данные обрабатываются в распределенной среде, то есть многопроцессорный вариант, когда задействованы все компьютеры, соединенные в локальную сеть.

В результате анализа методов реализации были выделены три наиболее распространенных: последовательный, параллельный и многоагентный [6, 7]. Выбор подхода к реализации алгоритма исходит из анализа удовлетворения требованиям, основанным на принципах самоорганизации.

В многоагентной модели каждый элемент (агент), в зависимости от той логики поведения, которая в него заложена, выполняет определенную роль – он представляет интересы и действует от лица какого-то реально существующего объекта («отдыхающий 1», «ресурс 2» и т.п.) [8]. Каждый такой элемент имеет свою цель, которая также выражена в его логике поведения: «отдыхающий» имеет цель получить удобное для себя время процедур, «ресурс» – заполнить свое расписание, чтобы его оборудование не простаивало. Вместе с тем, у всех агентов есть общая цель – составить расписание, удовлетворяющее требованиям каждого отдыхающего. Эта цель может быть достигнута с помощью коммуникации. Участвуя в коммуникационном процессе, агенты, общаясь между собой, обмениваются сообщениями и заключают соглашения. Заключив соглашение, каждый агент меняет только свою базу данных. База данных распределенная, то есть все данные не хранятся в одном месте, а распределены между участ-



никами. И, чтобы получить информацию, необходимо обратиться к ее владельцу.

Данный способ реализации поддерживает на уровне стратегий «человеческие» эвристики. Можно реализовать алгоритм, моделирующий поведение людей в данной «жизненной» ситуации. Таким образом, планирование не представляет собой последовательный перебор вариантов – поиск идет «со всех сторон» [9]. Многоагентный подход к реализации позволяет естественное распараллеливание алгоритма. При большой размерности задачи многопроцессорный способ выполнения значительно сокращает время вычислений.

Основные этапы разработанной системы календарного планирования в санаторно-курортном комплексе представлены на рис. 1. В результате работы была осуществлена многоагентная реализация алгоритма составления графика прохождения процедур отдыхающими в рамках автоматизированной системы «Санаторно-курортное лечение» [10, 11]. Обеспечена возможность изменения и дополнения логики поведения интеллектуальной системы.

**Заключение.** В работе рассмотрена проблема поддержки принятия решения при выборе наилучшей стратегии формирования расписания приема процедур отдыхающими в санаторно-курортном комплексе. На современном научно-методическом уровне обоснованы медико-технические требования к созданию автоматизированной системы управления санаторием, позволяющей автоматизировать все этапы работы, организовать и оптимизировать его деятельность в части поддержки лечебно-профилактических технологий и создания информационной инфраструктуры учреждения, обеспечить удобство работы для персонала и всесторонний контроль и анализ всех видов деятельности для руководителя лечебно-профилактического учреждения.

Разработана математическая модель принятия решений при формировании расписания прохождения процедур отдыхающими в санаторно-курортном комплексе, которая учитывает все основные особенности лечебного процесса. Предложен метод реализации алгоритма составления расписания процедур на основе агентного подхода, который обладает естественным параллелизмом, позволяет наиболее эффективно использовать доступные ресурсы локальной вычислительной сети организации.

Разработан прототип автоматизированной системы «Санаторно-курортное лечение», который показывает работоспособность предложенного подхода и позволяет сформулировать рекомендации по изменению графика работы процедурных кабинетов и их аппаратно-техническому оснащению.

*Данная разработка осуществлялась при частичной поддержке гранта РФФИ 06-07-89228-а (2006 – 2008 гг.).*

### *Список литературы*

1. Бадретдинов, Р.Р. Современные подходы и принципы организации восстановительного лечения в условиях санаторно-курортного комплекса Республики Башкортостан : автореф ... докт. мед. наук : 14.00.51 / Р.Р. Бадретдинов. – Уфа, 2006. – 46 с.
2. Назаренко, Г.И. Основы теории медицинских технологических процессов / Г.И. Назаренко, Г.С. Осипов. – М. : Изд-во Физматлит, 2005. – 156 с.
3. Виттих, В.А. Разработка интегрированной мультиагентной системы для управления здравоохранением в регионе / В.А. Виттих [и др.] // Тр. 4-ой Междунар. конф. по проблемам управления и моделирования сложных систем, Самара, 17-24 июня 2002. – Самара : Самарский научный центр РАН, 2002. – С. 398–406.
4. Бережная, Е.В. Математические методы моделирования экономических систем / Е.В. Бережная, В.И. Бережной. – М. : Финансы и статистика, 2003. – 368 с.
5. Попов, Д.В. Подход к разработке системы календарного планирования с применением онтологической базы знаний / Д.В. Попов, Д.Р. Богданова, Д.А. Ризванов // Материалы XXXIV Междунар. конф. и дискуссионного научного клуба «Информационные технологии в науке, социологии, экономике и бизнесе» // Приложение к журналу «Открытое образование», 2007. – С. 82–84.
6. Андреев, В.В. Инструментальные средства для разработки мультиагентных систем промышленного масштаба / В.В. Андреев, С.В. Батищев, К.В. Ивкушкин, Т.В. Искварина, П.О. Скобелев // Тр. VI Междунар. конф. «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». – Самара : Самарский научный центр РАН, 2004. – С. 233–240.
7. Тарасов, В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В.Б. Тарасов. – М. : Эдиториал УРСС, 2002. – 352 с.
8. Богданова, Д.Р. Интеллектуальная система календарного планирования в санаторно-курортном комплексе / Д.Р. Богданова, Д.В. Попов, Д.А. Ризванов // Информационные и математические технологии в науке и управлении / Тр. XII Байкальской Всерос. конф. «Информационные и математические технологии в науке и управлении». Часть III. – Иркутск : ИСЭМ СО РАН, 2007. – С. 31–40.
9. Сенькина, Г.В. Мультиагентная система составления расписания в санаторно-курортном комплексе / Г.В. Сенькина, Д.В. Попов, Д.Р. Богданова, Д.А. Ризванов, А.Р. Габдулхакова // Уфим. гос. авиац. техн. ун-т / Уфа, 2007. – 233 с., ил. Деп. в ВИНТИ 29.08.2007, № 850-В2007/ Депонированные научные работы, № 10, 2007.
10. Программа для ЭВМ: Автоматизированная система «Санаторно-курортное лечение». Версия 1.0 / А.Ю. Крайнов, Б.Н. Федоров, Д.В. Попов, Д.А. Ризванов, А.В. Кривошеев, Д.Р. Богданова, А.Р. Габдулхакова. Рег. № 50200601236 // ФГУП «Всероссийский научно-технический информационный центр» (ВНТИЦ), 2006.

## Software for Decision-Making Support in Health Center

D.R. Bogdanova, D.V. Popov

*Ufa State Aviation Technical University, Ufa*

**Key words and phrases:** decision-making support, scheduling, multi-agent approach, health center, medical and technical requirements.

**Abstract:** The problem of decision-making support when choosing the best strategy of scheduling treatment for patients in a health center is considered. Medical and technical requirements for creation of automated control system aimed at automation of basic processes connected with treatment of patients at a health center are grounded. Mathematical model of decision-making support for scheduling treatment of patients and multi-agent approach to solution to the task of calendar planning are proposed.

---

© Д.Р. Богданова, Д.В. Попов, 2007