

УДК 004:615.83

Д. Р. БОГДАНОВА

## ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ КАЛЕНДАРНОМ ПЛАНИРОВАНИИ В САНАТОРНО-КУРОРТНОМ КОМПЛЕКСЕ

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-курортный комплекс; календарное планирование; многоагентный подход; поддержка принятия решений*

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.

Санаторно-курортное учреждение — это сложная система, деятельность которой связана с предоставлением лечебно-оздоровительных услуг. В условиях рынка отдыхающие требуют все более качественно-го 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.

Исследования такого класса социально-экономических систем представлены в работах ряда авторов [1, 2, 3, 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.

Процесс календарного планирования в санаторно-курортном комплексе можно условно разделить на две подзадачи: назначение процедур отдыхающим и составление расписания прохождения назначенных процедур отдыхающими. В рамках статьи рассматривается проблема поддержки принятия решений при составлении расписания.

### 1. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА САНАТОРНО-КУРОРТНОГО ЛЕЧЕНИЯ

Специфику задачи формирования расписания прохождения процедур отдыхающими можно представить в виде функциональной модели этого процесса (рис. 1) [5].

Поясним составляющие операции процесса санаторно-курортного лечения. По приезду в санаторий отдыхающий обращается в регистратуру (блок А1), где регистратор с помощью автоматизированного рабочего места

(АРМ) на основании путевки и сопутствующих документов (паспорт, медицинский страховой полис, больничная карточка и т.д.) вносит основные сведения об отдыхающем, основное и сопутствующее заболевания, назначает лечащего врача, предоставляет номер для проживания. По окончании регистрации заводится санаторно-курортная карта, с которой отдыхающий идет на прием к лечащему врачу.

На основании санаторно-курортной карты лечащий врач (блок А2) назначает процедуры в соответствии с основным и сопутствующим заболеваниями, а также их количество в соответствии со сроком лечения и стоимостью путевки. При этом учитываются желания и возможности отдыхающего, а также информация о загруженности производственных мощностей. В случае необходимости лечащий врач направляет отдыхающего на консультацию к узкому специалисту (блок А3), рекомендации которого также могут быть учтены при назначении процедур.

При этом лечащий врач задает правила приема процедур, которые определяют взаимный порядок и последовательность их прохождения (например, некая процедура принимается не чаще одного раза в три дня; или две различные процедуры являются несовместимыми, то есть не могут приниматься в один день).

По запросу врача информация о назначенных процедурах поступает в интеллектуальную систему, где происходит формирование расписания приема процедур отдыхающим с учетом введенных ограничений и текущей загруженности имеющихся производственных мощностей (А4). Полученный проект расписания поступает к лечащему врачу на утверждение. После чего на основании рабочего расписания с помощью АРМ медработника, лечебно-оздоровительных процедур и лечебных факторов производится отпуск процедур (А5). В случае ухудшения самочувствия отдыхающего медработник отправляет его к лечащему врачу. По окончании санаторно-курортного лечения отдыхающему может быть проведено обследование с последующей выпиской из санатория (А6).

## 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ РАСПИСАНИЯ ПРОХОЖДЕНИЯ ПРОЦЕДУР ОТДЫХАЮЩИМИ

Приведем математическую модель поддержки принятия решений при формировании

расписания прохождения процедур отдыхающими [6].

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  $a_{i_1}, a_{i_2} \in A$ ,

$$\bar{t}_{i(j+1)}^{(d)} \geq \bar{t}_{ij}^{(d)} + t_{ij} + \max(t''_{ij}, t'_{i(j+1)}), \quad (2)$$

$$\begin{cases} T_{j1}^{(d)} \leq \bar{t}_{ij}^{(d)} \\ \bar{t}_{ij}^{(d)} + t_{ij} \leq T_{j2}^{(d)} \end{cases}, \quad (3)$$

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 медикотехническими особенностями лечения. Такие, как отношения непосредственного следования и несовместимости процедур.

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

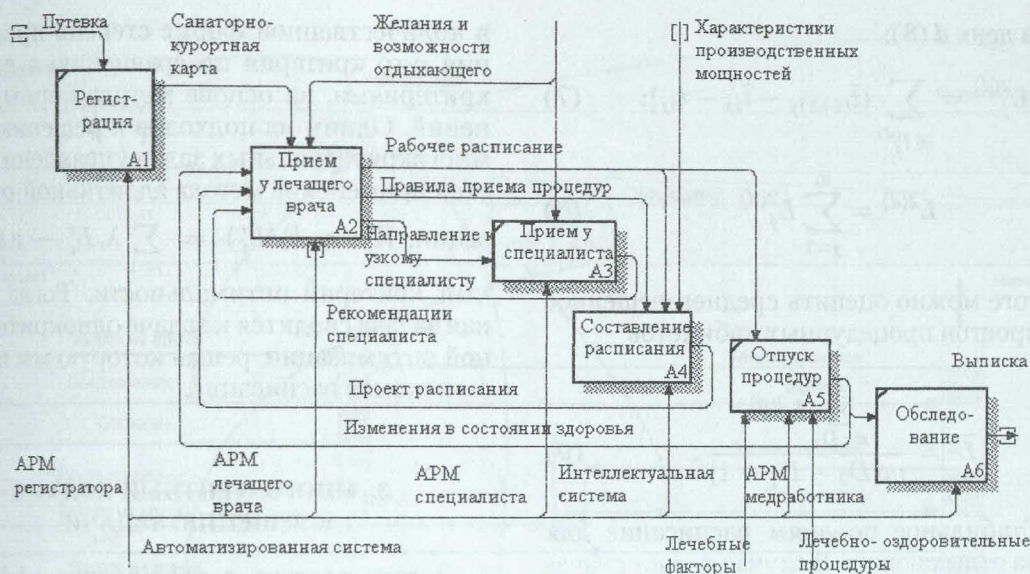


Рис. 1. Структура процесса санаторно-курортного лечения

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

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

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

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

$$C_2 = \{(p, p') \mid j \in J_i(d), j' \in J_i(d) \\ \phi^{-1}(j) = p, \phi^{-1}(j') = p', d' + \tau > d\}$$

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

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

4) частные случаи отношения несовместимости:

– количество дней  $\tau$  равно 1 дню,

$$C_4 = \{(p, p') \mid j \in J_i(d), \phi^{-1}(j) = p, \\ \delta j' \in J_i(d'), \phi^{-1}(j') = p'\}$$

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:

$$L_i^{1(d)} = \sum_{j \in J_i^{(d)}} \{(\bar{t}_{i(j+1)}^{(d)} - \bar{t}_{ij}^{(d)} - \\ - (t_{ij} + \max(t_{ij''), t_{i(j+1)'})\}, \quad (4)$$

где  $J_i = \bigcup_{d=D_1}^{d_2} J_i(d)$ .

Суммарное время простоя при прохождении всеми отдыхающими процедур с учетом времени отдыха до и после приема процедур в течение дня  $d$  (5):

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

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

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 каби-

нетов за день  $d$  (8):

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

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

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  $i$  процедур (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)

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

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

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

Поставим задачу поддержки принятия решений в условиях определенности [6]. 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  $F_i(L_i^r) = \sum_{j=1}^n \lambda_r L_i^r$  — аддитив-

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

### 3. МНОГОАГЕНТНЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ

Задача состоит в увеличении эффективности составления расписания прохождения процедур в санатории. Предлагается такой вариант решения при котором будет задействован 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.

Поставленная задача может быть решена различными методами теории расписаний. В результате анализа методов реализации были выделены три наиболее распространенных: последовательный, параллельный и многоагентный [7, 8]. 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 («отдыхающий1», «ресурс2» и т. п.). 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.

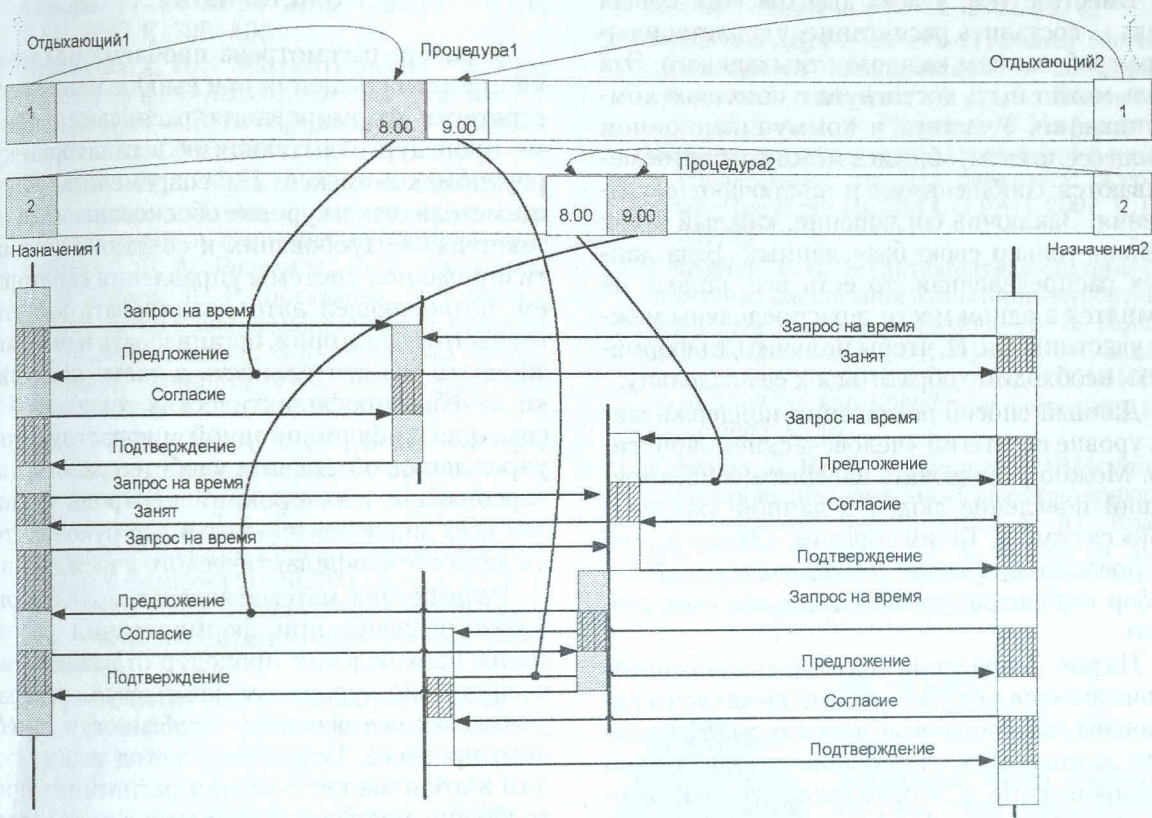


Рис. 2. Модель взаимодействия агентов: отдыхающим назначены две одинаковые процедуры

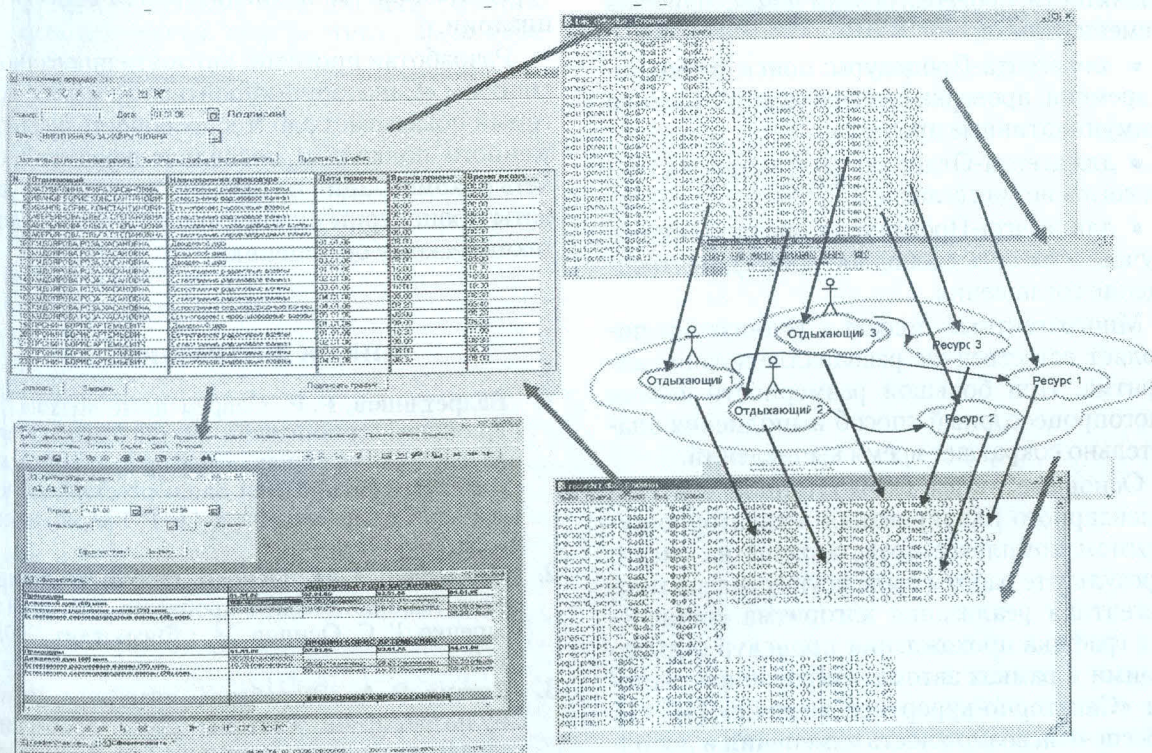


Рис. 3. Основные этапы работы системы

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 участниками. 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».

На рис. 3. представлена модель взаимодействия агентов в случае, когда отдыхающим назначены две одинаковые процедуры [9]. Входные данные. Для отдыхающего 1 назначено две процедуры. Для отдыхающего 2 назначена одна процедура. График работы процедурного кабинета: 8.00–9.00, 9.00–10.00, 10.00–11.00. Типы операций принятия решений:

- для агента-Отдыхающего: проверка занятости, проверка ограничений, проверка времени отдыха;
- для агента-Процедуры: поиск свободного времени, проверка отправителя, затраты на коммуникативные процессы.
- для агента-Отдыхающего: запрос на время, согласие (несогласие).
- для агента-Процедуры: предложение (в случае, если есть свободное время), подтверждение соглашения.

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. 4. 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 санатория, 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 к реализации алгоритма составления расписания прохождения процедур отдыхающими 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.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бадретдинов, Р. Р.** Современные подходы и принципы организации восстановительного лечения в условиях санаторно-курортного комплекса Республики Башкортостан : автореф. дис. ... д-ра мед. наук / Р. Р. Бадретдинов. Уфа, 2006. 46 с.
2. **Назаренко, Г. И.** Основы теории медицинских технологических процессов / Г. И. Назаренко, Г. С. Осипов. М. : Физматлит, 2005. 156 с.
3. **Виттих, В. А.** Разработка интегрированной мультиагентной системы для управления здравоохранением в регионе / В. А. Виттих, В. Н. Ежков, Г. П. Котельников [и др.] // Тр. 4-й Междунар. конф. по проблемам управления и моделирования сложных систем,

- Самара, 17–24 июня 2002. Самара : СНЦ 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. **Ризванов, Д. А.** Мультиагентная система составления расписания прохождения процедур отдыхающими в санаторно-курортном комплексе / Д. А. Ризванов, Г. В. Сенькина, Д. В. Попов, Д. Р. Богданова // Компьютерные науки и информационные технологии (CSIT'2006) : матер. 8-й Междунар. конф. Карлсруэ, Германия, 2006. Т. 1. С. 118–124. (На англ. яз.).
  6. **Попов, Д. В.** Подход к разработке системы календарного планирования с применением онтологической базы знаний / Д. В. Попов, Д. Р. Богданова, Д. А. Ризванов // Информационные технологии в науке, социологии, экономике и бизнесе (IT+SE'07) : матер. XXXIV Междунар. конф. и дискус. науч. клуба ; прилож. к журн. «Открытое образование». 2007. С. 82–84.
  7. **Андреев, В. В.** Инструментальные средства для разработки мультиагентных систем промышленного масштаба / В. В. Андреев, С. В. Батищев, К. В. Ивкушкин [и др.] // Проблемы управления и моделирования в сложных системах : тр. VI Междунар. конф. Самара : Самарск. науч. центр РАН, 2004. С. 233–240.
  8. **Тарасов, В. Б.** От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика / В. Б. Тарасов. М. : Эдиториал УРСС, 2002. 352 с.
  9. **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 Байкальск. всерос. конф. Иркутск : ИСЭМ СО РАН, 2007. Ч. III. С. 31–40.
  10. **Сенькина, Г. В.** Мультиагентная система составления расписания в санаторно-курортном комплексе / Г. В. Сенькина, Д. В. Попов, Д. Р. Богданова [и др.] ; Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т. Уфа, 2007. 233 с. Деп. в ВИНТИ 29.08.2007, № 850-В2007/ Депонир. науч. работы. 2007. № 10.
  11. **Крайнов, А. Ю.** Программа для ЭВМ: Автоматизированная система «Санаторно-курортное лечение». Версия 1.0 / А. Ю. Крайнов, Б. Н. Федоров, Д. В. Попов [и др.]. Рег. № 50200601236. ФГУП «Всерос. науч.-техн. инф. центр» (ВНИИЦ), 2006.

#### ОБ АВТОРЕ



**Богданова Диана Радиковна**, асс., асп. каф. ВМиК. Дипл. спец. по мат. методам в экономике (УГАТУ, 2005). Готовит дис. по поддержке принятия решений при управлении санаторно-курортным комплексом.