



Автоматизація планування ресурсів стаціонарів

В.М.Лехан, М.В.Павленко, В.В.Волчек, О.А.Литвинов

*ДЗ «Дніпропетровська медична академія МОЗ України», Дніпропетровськ,
Україна*

РЕЗЮМЕ, ABSTRACT

У роботі методом імітаційного моделювання вирішено завдання автоматизації планування лікування стаціонарних хворих хірургічного профілю в системі з динамічним складанням розкладу. Впровадження запропонованого алгоритму в практиці стаціонару дало можливість підвищити ефективність використання ресурсів хірургічного відділення в 1,7 рази (Укр.ж. телемед.мед.телемат.-2012.-Т.10,№2.-С.13-17).

Ключові слова: автоматизація планування, ресурси стаціонарів, хірургічне відділення

В.Н. Лехан, М.В. Павленко, В.В. Волчек, А.А.Литвинов

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РЕСУРСОВ СТАЦИОНАРОВ

ДЗ «Днепропетровская медицинская академия МОЗ Украины», Днепропетровск, Украина

В работе методом имитационного моделирования решена задача автоматизации планирования лечения стационарных больных хирургического профиля в системе с динамическим составлением расписания. Внедрение предложенного алгоритма в практику стационара позволило повысить эффективность использования ресурсов хирургического отделения в 1,7 раза (Укр.ж.телемед.мед.телемат.-2012.-Т.10,№2.-С.13-17).

Ключевые слова: автоматизация планирования, ресурсы стационаров, хирургическое отделение

V.N.Lekhan, M.V.Pavlenko, V.V.Volchek, A.A.Litvinov

AUTOMATION HOSPITAL RESOURCE PLANNING

Dnepropetrovsk Medical Academy of MHS of Ukraine, Dnepropetrovsk, Ukraine

The problem of automation of planning patient care in hospital surgical departments with dynamic scheduling solved by simulation method. Implementation of the algorithm in practice at the hospital has increased efficiency of surgical department resource use by 1.7 times (Ukr.z.telemed.med.telemat.-2012.-Vol.10,№2.-P.13-17).

Keywords: automation of planning, hospital resources, surgical department

Необхідність ефективного розподілу бюджетних коштів в Україні на сучасному етапі висуває жорсткі вимоги до вибору правильного рішення щодо використання ресурсів стаціонарних закладів. Традиційний підхід до вибору найбільш адекватного варіанта розподілу ресурсів шляхом проведення натурних експериментів є тривалим і витратним. В сучас-

них умовах планування розподілу ресурсів в медичних закладах і насамперед в стаціонарах доцільно здійснювати з використанням інформаційних технологій [4, 6]. Ефективним способом для вибору оптимального рішення без істотних витрат є математичне моделювання процесу розподілу ресурсів [2, 5].

Мета дослідження

Мета роботи - обґрунтувати найбільш оптимальний розподіл ресурсів стаціонарних закладів шляхом автоматизації

планування процесу лікування хворих стаціонарних відділень.

Матеріал та методи

Для вирішення завдання найбільш оптимального розподілу ресурсів відділень стаціонару було використано метод імітаційного моделювання, заснований на системному підході, з розробкою сценаріїв поведінки моделі при визначеному розвитку подій. Імітаційні моделі дозволяють відповісти на запитання, що буде в результаті, якщо події будуть розвиватися за тим або іншим сценарієм. При цьому слід розуміти, що можливості наявних методів автоматизованого планування медичних процесів в стаціонарних

відділеннях, зокрема планування оперативних втручань, певною мірою обмежені. Більшість існуючих програмних засобів пропонують інструменти для ручного планування, часткової перевірки правильності сформованих розкладів, пропозиції варіантів розкладів на вибір користувача програми [3].

Математичне моделювання розподілу ресурсів проводилося на базі приватної хірургічної клініки «Гарвіс» (м. Дніпропетровськ).

Результати та обговорення

Проведено імітаційне моделювання розподілу ресурсів відділень стаціонару для виявлення ефективної ресурсозберігаючої структури медичних послуг, яка у сучасних економічних умовах буде найкраще задовольняти потреби населення.

Перед стаціонарним лікуванням хворого на основі результатів обстеження пацієнта формується заявка на проведення операції і відповідно госпіталізацію пацієнта. Її математична модель описана раніше в статті [1]. Вказана заявка реєструється в автоматизованій медично-фінансовій системі управління MedDok клініки Гарвіс і проводиться по системі з урахуванням вже розподілених ресурсів відділення (запланованих операцій, зайнятості звичайних і реанімаційних ліжок, а також правил і обмежень, пов'язаних з роботою відділення), а також стану і побажань пацієнта (в рамках конкретного часового проміжку). Кожний етап стаціонарного лікування і, відповідно, термін стаціонарного лікування пацієнта в цілому мають чіткі часові межі, що орієнтовно встановлюються лікарем, який лікує пацієнта, і заносяться в систему управління MedDok.

Для автоматизованого вибору варіанта розподілу певної заявки в уже існуючому розкладі роботи відділення запропоновано прийняття рішення з використанням імітаційної моделі.

Основними обмеженнями моделі є: 1) розглядається тільки варіант планових

операцій; 2) розглядаються тільки хворі, стаціонарне перебування яких займає максимум 7 днів; 3) неділя не є операційним днем; 4) операція проводиться в день надходження пацієнта; 5) варіанти відхилення від стандарту лікування не розглядаються; 6) всі пацієнти, які надійшли у відділення протягом тижня, повинні бути виписані до неділі.

Введемо позначення:

n - кількість ліжок у відділенні,

$T = \bigcup_{i=1}^7 T_i$, $T \neq \emptyset$ - набір послуг,

класифікований за кількістю днів перебування пацієнта в стаціонарі,

O_{max} - максимальна кількість операцій, що проводяться за день,

$O_{max}^{ot_i}$ - максимальна кількість операцій типу ot_i , що проводяться за

день.

ot_i - вектор розподілу операційних

послуг заданого типу,

T_i - послуга типу i .

Послугою в даному випадку є стаціонарне лікування певної тривалості, що включає в себе передопераційний етап, відповідне оперативне втручання та післяопераційний етап, а також виписку із стаціонару; типом послуги - тривалість лікування в днях (тобто стаціонарне лікування тривалістю 4 дні в формулі буде відображене як тип послуги

ги Т4). Група пацієнтів, що одночасно надійшли в клініку для надання i -ої послуги, відповідає поняттю пакета завдань типу i . Відповідно, кількість послуг типу i , які можуть бути надані клінікою одночасно (протягом одного дня), дорівнює величині пакета завдань.

Розглянемо модель розподілу в клініці з 20 ліжками, яка спеціалізується на одному типі послуг - типу 4 (тривалість стаціонарного перебування хворого складає 4 дня). Беручи до уваги

умову виписки всіх пацієнтів до неділі, отримаємо наступний варіант розподілу: перші 20 пацієнтів поступають в понеділок і виписуються в четвер, звільняючи місце для наступних 20-ти пацієнтів, які виписуються в неділю. Максимальна пропускна здатність такої клініки буде дорівнювати 40 пацієнтам на тиждень, операційними днями при цьому будуть – понеділок і четвер, в які буде проведено по 20 операцій (табл. 1).

Таблиця 1. Загальна модель обслуговування пацієнтів хірургічним відділенням

| Кількість пацієнтів, що обслуговуються | Дні тижня | | | | | | |
|--|------------|-----------|---------|---------|-----------|---------|---------|
| | поне-ділок | вів-торок | се-реда | чет-вер | п'ят-ниця | су-бота | не-діля |
| 20 | I* | K** | K | X*** | | | |
| 20 | | | | I | K | K | X |

Примітки: * I – надходження та операція, ** K – перебування на ліжку, *** X – виписка

Міркуючи подібним чином відносно інших типів послуг можна прийти до наступних висновків. Максимальне число заявок, які може обслужити клініка, спеціалізацією якої є тільки стаціонарне перебування хворих протягом 5, 6 або 7 днів (типи послуг 5, 6 та 7 відповідно), буде дорівнювати кількості ліжок у відділенні, що може бути описано формулою (1):

$$\max(T_5 | T_6 | T_7, 7) = p_{5-7} \quad (1)$$

Для типу послуг 4 - (2), при цьому операційними днями будуть: понеділок, четвер.

$$\max(T_4, 7) = p_4 * 2 \quad (2)$$

Для типу послуг, коли тривалість стаціонарного перебування хворого складає 3 дні (тип 3), можна описати формулою (3). При цьому операційними днями будуть: понеділок, середа, п'ятниця.

$$\max(T_3, 7) = p_3 * 3 \quad (3)$$

Для типів послуг 1 та 2 (коли тривалість стаціонарного перебування хворого складає 1,2 дня) пацієнти мо-

жуть надходити і оперуватися в будь-який день, крім неділі

$$\max(T_1 | T_2, 7) = p_{1-2} * 6, \quad (4)$$

де $p_{1-7} \leq n$ – величини пакетів послуг різних типів.

У разі змішаного розподілу послуг, який має місце в практиці, важливими параметрами, що впливають на ефективність такого розподілу, стають: правило, що визначає порядок розподілу типів послуг; величина пакету для кожного типу послуг.

Величина пакету для кожного типу послуг може обчислюватися на основі коефіцієнта, що визначає частку послуг даного типу від загального числа послуг усіх типів (5).

$$p_i = k_i * n, \quad (5)$$

p_i – величина пакета послуг типу i ,

k_i – частка послуг типу i ,

при цьому $\sum_{i=1}^7 k_i = 1$.

Кожному типу послуг призначається порядок, від якого залежить пріоритет розподілу ресурсів.

$$r_j = s_j(T) \quad (6)$$

$$s: t_i \rightarrow t_i^k, \quad i, j, k \leq 7, \quad i \neq j, \quad \forall t_i^k, t_j^{k+1} \quad t_i < t_j \quad (7)$$

Порядок задається емпірично на основі оцінки ідеальних варіантів розподілів та статистики послуг і може бути здійснений на підставі перебору і оцінки отриманих рішень автоматично.

Таким чином, розподіл послуг на тижень залежить від числа ліжок у відділенні, максимальної кількості

$$H_j^7 = \{(\sigma\tau_i, \tau_i, p_i, T_i) | i \leq 7, r_j \in R, o_{max}, n\}$$

де $\sigma\tau_i$ – вектор розподілу операцій послуг заданого типу,

τ_i – вектор розподілу ліжкового фонду для надання послуг даного типу,

R - множина ресурсів, що включає ліжковий фонд, операційні (в даному випадку одна), ліжковий фонд інтенсивної терапії, хірургів;

\in - належність до множини.

Можливий розподіл послуг на будь-який інтервал кратний тижню:

$$H_j^d = \bigcup_{i=1}^{d/7} H_j^{7,i} \quad (9)$$

Алгоритм роботи даної моделі складається з 4 етапів.

За ідеальною моделлю розподілу, створеної на основі розподілу вже існуючих послуг (останніх 5 років) з врахуванням місячних та сезонних коливань визначається порядок розподілу типів послуг, величина пакету для кожного типу, порядок розподілу послуг в рамках тижня (або двох тижнів якщо тривалість стаціонарного перебування більша ніж 7 днів).

За обраним порядком послідовно виконується розподіл існуючих заявок

$$F_{opt} = bn * bnW + on * onW + ol * olW + ow * onW - v * vW - r * rW \quad (10)$$

$В$ – з урахуванням ефективності

$$F_{opt_ефект} = F_{opt} + (F_{opt} / (on * onW + bn * bnW)) * eW \quad (11)$$

де F_{opt} - функція оптимального розподілу ресурсів без врахування ефективності

$F_{opt_ефект}$ - функція оптимального розподілу ресурсів з врахуванням ефективності, bn – кількість зайнятих ліжко-днів протягом тижня, bnW – вага кількості зайнятих ліжко-днів протягом

операцій проведених за день (тривалості операційного дня), порядку розподілу послуг, величини пакета для кожної послуги, яка також визначає максимальну кількість операцій заданого типу в день. Розподіл, що базується на j -ій моделі розподілу типів послуг, яка описана правилом (7) буде мати вигляд:

$$(8)$$

(однієї в разі динамічного розподілу, черги в разі попередньої обробки). Вхідними параметрами при цьому є: клас послуги, список послуг даного типу, величина «пакета».

Дотримуючись порядку розподілу послуг в межах тижня, проводиться спроба розподілу послуг для кожного типу, враховуючи обмеження (максимальна кількість операцій, число ліжок і т.д.) і вже розподілені ресурси. Якщо задані правила не дозволяють здійснити розподіл – береться попередній/наступний день і здійснюється повторна спроба.

При неможливості розподілу заявок/заявки у рамках зазначеного тижня – заявка переходить в набір завдань наступної ітерації генерації розподілу на період часу кратний тижню.

Даний алгоритм найбільш ефективно може використовуватися в умовах попереднього планування послуг на період кратний тижню в системах з чергою заявок на надання послуги.

Функція оптимального розподілу ресурсів має наступний вигляд:

A . – без врахування ефективності

$$(10)$$

тижня, on – кількість операцій протягом тижня, onW – вага кількості операцій протягом тижня, ow – вартість операцій протягом тижня, olW – вага вартості операцій протягом тижня, v – дисперсія розподілення зайнятих операційних годин протягом тижня, vW – вага дисперсії розподілення зайнятих операційних годин протягом тижня, r – ризик затримки часу проведення операцій, rW – вага ри-

зика затримки часу проведення операцій, eW – вага ефективності.

Планування на основі моделювання були впроваджені в приватній хірургічній клініці «Гарвіс», де з 2008 року працює автоматизована медично-фінансова система управління MedDok, яка використовує загальний алгоритм планування діяльності медичної установи для максимального та рівномірного завантаження ліжок і операційної з урахуванням оптимального розподілу ресурсів на основі теорії динамічного складання розкладу. Використання наведеної моделі з використанням помісячних розподілів послуг протягом останніх 5 років показало наступні результати. Користуючись стан-

дартними формулами для визначення прискорення та ефективності обробки заявок

$$s_p = \frac{T_1}{T_p} \quad (12)$$

$$E = \frac{s_p}{r} \quad (13)$$

T_1 – час обробки n послуг на базі динамічного розподілу, T_p – час обробки

послуг з використанням запропонованого алгоритму, отримуємо, що використання ресурсів з використанням представленого алгоритму буде в 1,7 разів ефективнішим.

Висновки

У роботі показані переваги використання методу імітаційного моделювання у вирішенні важливих стратегічних задач закладу охорони здоров'я. Цей метод дає можливість вибору найбільш ефективного варіанта рішення проблеми без проведення тривалих та витратних

експериментів. В даному випадку вирішено задачу автоматизації планування лікування хворих хірургічного профілю в системі з динамічним складанням розкладу, що дало можливість підвищити ефективність використання ресурсів відділення у 1,7 рази.

Література та вебліографія

1. Лехан В.М., Павленко М.В., Литвинов А.А. Подход к автоматизации планирования лечения больных хирургического профиля // Системные технологии. – 2010. - №5 (64). - С.58-72.
2. Kragelund L., Kabel T. Employee Timetabling: An Empirical Study of Solving Real Life Multi-Objective Combinatorial Optimization Problems by means of Constraint-Based Heuristic Search Methods.- Master thesis in cs, 1998.-200 p.
3. Becker M., Krempels K.-H., Navarro M. et al. Agent Based Scheduling of Operation Theatres /EU-LAT eHealth Workshop, Cuernavaca, Mexico.-December 2003.-P. 220–227.
4. Krempels K.-H., Panchenko A. An Approach for Automated Surgery Scheduling / Practice and Theory of Automated Timetabling.- VI: Sixth International Conference, PATAT 2006 Brno, Czech Republic.-August 30 - September 1, 2006.- 123-127 p.
5. Panchenko A. Preference-Based Scheduling of Operation Theaters.- Master Thesis in Computer Science, Department of Computer Science IV, RWTH Aachen University, Germany, 2005.-200 p.
6. Sauer J. Multi-Site Scheduling: Hierarchisch koordinierte Ablaufplanung auf mehreren Ebenen.-PhD thesis, Fachbereich Informatik, Universität Oldenburg, 2002.-180 p.

Надійшла до редакції: 04.11.2012.

© В.М.Лехан, М.В.Павленко, В.В.Волчек, О.А.Литвинов

Кореспонденція: Лехан В.М.,
Пр-т к.Маркса, 24, 49000, Дніпропетровськ, Україна
E-mail: veravolchek@gmail.com