

## ЗАДАЧА ПЛАНИРОВАНИЯ СКРИНИНГОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

УДК 004.891.2

### **МЕЛЬНИК Карина Владимировна**

ассистент кафедры Автоматизированных систем управления НТУ «Харьковский политехнический институт».

**Научные интересы:** информационные технологии в медицине и других сферах, системы поддержки принятия решений.

**e-mail:** karina.v.melnyk@gmail.com

### **ГОЛОСКОКОВ Александр Евгеньевич**

к.т.н., профессор кафедры Автоматизированных систем управления НТУ «Харьковский политехнический институт».

**Научные интересы:** системы массового обслуживания, управление технологическими процессами, системы поддержки принятия решений.

**e-mail:** prof.goloskokov@gmail.com

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время в области медицинского обслуживания населения существует ряд актуальных задач, требующих решения. В частности, эффективное использование имеющихся ресурсов (квалифицированный персонал, медицинское оборудование, специальные материалы и т.п.) может существенно повлиять на качество медицинских услуг. Это приводит к различным постановкам задачи планирования в медицинском учреждении.

Основной целью типового медицинского учреждения является обеспечение требуемого уровня здоровья населения. Достижение поставленной цели предполагает оказание населению лечебно-профилактических услуг, поэтому большое внимание при формировании бюджета уделяется проведению профилактики и скрининговым мероприятиям. Скрининговые процедуры проводят для ранней диагностики различных заболеваний и определению предрасположенностей к каким-либо нарушениям в организме, что необходимо для оказания своевременной лечебно-профилактической помощи [1]. К таким мероприятиям можно отнести диспансеризацию, вакцинацию, пропаганду здорового образа жизни, различные обследования и профосмотры. Наиболее эффективным подходом для профилак-

тики и своевременного определения заболеваний является проведение диспансеризации или регулярных профосмотров.

### **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ**

Скрининговые мероприятия требуют определенного расхода ресурсов, которые в обычном лечебно-профилактическом учреждении (ЛПУ) ограничены ввиду небольшого бюджета. Это приводит к тому, что необходимо тщательно планировать проведение диспансеризации учитывая, с одной стороны, риски развития социально-опасных заболеваний, а с другой – затраты на проведение диагностических мероприятий.

### **АНАЛИЗ ПРЕДЫДУЩИХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Проблемами управления и бюджетирования предприятий занимаются большое количество исследователей. Можно выделить ряд отечественных и зарубежных ученых, которые работают в данном направлении: В.Л. Волкович, В.С. Михалевич, Д.А. Новиков, В.М. Глушков, А.Г. Аганденян, Р. Акорф, В.М. Бурков, А.В. Дабаган, А.В. Карибский, М. Месарович, Г.С. Поспелов, В.Е. Хруцкий, Т. Саати, А.Д. Цвиркун и др. Управлению медицинскими организациями с точки зрения влияния финансов большое внимания уделяют В.А. Солодкий, В.И. Стародубов, Ч.Т. Хорнгрен; специа-

листами в теоретических и практических вопросах процесса составления бюджета в лечебных учреждениях являются Е.Ю. Добровольский, В.А. Солодкий, Е.В. Глухов, Л.С. Шаховская, В.Е. Хруцкий; освещают вопросы планирования и распределения ресурсов О.М. Горелик, И.И. Мазур, И.В. Буркова [2-5]. Несмотря на многочисленные исследования в области планирования, на сегодняшний момент некоторые вопросы остаются открытыми. Например, недостаточно освещенными являются вопросы с применением информа-

ционных технологий, в частности, для решения задачи планирования скрининговых мероприятий в медицинском учреждении.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

В общем виде процесс проведения скрининговых мероприятий в ЛПУ на примере проведения диспансеризации можно представить в следующем виде (рис. 1).

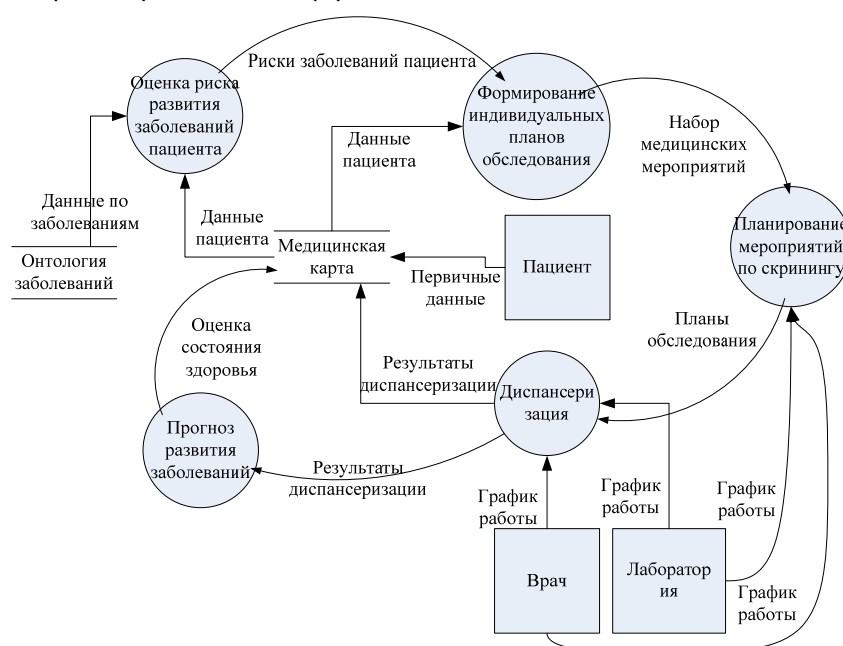


Рисунок 1 – Проведение скрининговых мероприятий

К плановой диспансеризации Министерством здравоохранения рекомендован комплекс мероприятий, который проверяет на наличие распространенных и социально-значимых заболеваний. Но в медицинской карточке пациента может присутствовать актуальная информация об анализах и проведенных с ним медицинских процедур. Поэтому часть мероприятий можно не проводить. В итоге для прохождения диспансеризации для каждого пациента формируется свой индивидуальный план обследования. Например, если результаты флюорографии еще актуальны на рассматриваемый период, то список рекомендованных мероприятий уменьшается, в противном случае – список остается неизменным. Если у пациента присутствует заболевание, которое может за собой повлечь негативные последствия в виде других нарушений организма, то

список мероприятий увеличивается за счет добавления дополнительных исследований. Период проведения диспансеризации для каждого пациента – свой, ввиду актуальности процедур, проведенных с пациентом ранее. Поэтому всех пациентов, которым нужно пройти обследования в ходе прохождения плановой диспансеризации, можно разделить на группы. Каждая группа назначена для процедур на свое время, в свой месяц. Составление такого плана обследования с учетом актуальности процедур, проведенных с пациентом, поможет рационально распределить финансовые затраты для ЛПУ и существенно сэкономит временные затраты для пациента.

Предварительная обработка данных, состоящая в оценивании рисков развития заболеваний, дает предположения о возможных нарушениях состояния здоро-

вья пациента. Проверяются предположения после прохождения пациентом диспансеризации. Информация, полученная при прохождении пациентами обследований, записывается в карточки пациентов, после чего делаются выводы о состоянии здоровья. В зависимости от результатов, каждому пациенту могут быть назначены дополнительные обследования, лечение или просто выданы какие-либо рекомендации.

Таким образом, результаты решения задачи составления плана обследования позволяют рассмотреть альтернативные варианты распределения бюджетных средств. Поэтому целью исследования является разработка модели выбора пациентов для проведения скрининговых мероприятий в определенном периоде в условиях ограниченных ресурсов в ЛПУ, а также модели формирования индивидуального плана скрининговых мероприятий, проводимых в типовом медицинском учреждении.

### ПАРАМЕТРЫ И ПЕРЕМЕННЫЕ МОДЕЛЕЙ

Рассмотрим задачу планирования скрининговых мероприятий. В ЛПУ задача планирования разбивается на два этапа:

1) определить набор необходимых мероприятий для каждого пациента;

2) выбрать пациентов с максимальными рисками социально-опасных заболеваний.

Последовательность этапов обуславливается тем, что результаты первой задачи могут использоваться не только для решения второй задачи, но и для адресного информирования пациентов о необходимости прохождения тех или иных регулярных процедур.

Для решения представленных выше задач в работе предлагаются следующие критерии:

1 критерий: эффект от выбранных мероприятий;

2 критерий: финансовые затраты, требуемые на проведение выбранных мероприятий;

3 критерий: время, проведенное пациентом в ЛПУ, а, значит, количество проведенных с ним скрининговых мероприятий.

Обозначим через параметр  $T$  – период планирования. Бюджетный период для любого медицинского учреждения составляет один календарный год, поэтому будем рассматривать  $t = \overline{1,12}$  – конкретный месяц бюджетного года. Обозначим  $\Phi[\text{грн}]$  – бюджетные

средства ЛПУ, выделенные на проведение диспансеризации на весь бюджетный период.

Рабочий график медицинских работников предполагает прием не только диспансерных пациентов, но и населения, пришедшего с текущими жалобами и проблемами на здоровье. Поэтому на проведение скрининга в каждом месяце выделяется четко определенное время. Это условие можно описать следующими параметрами, характеризующими затраты рабочего времени в  $t$ -ом периоде для проведения диспансеризации:

- $\Theta_t^{\text{П}}[\text{час}]$  – время работы врачей, выделенное на диспансеризацию в  $t$ -ом периоде;
- $\Theta_t^{\text{О}}[\text{час}]$  – время работы оборудования, выделенное на диспансеризацию в  $t$ -ом периоде;
- $\Theta_t^{\text{Л}}[\text{час}]$  – время работы лаборатории, выделенное на диспансеризацию в  $t$ -ом периоде.

Пусть  $I$  – множество видов мероприятий, например приборно-компьютерное, диагностическое обследование или прием врача. Тогда  $J_i, i \in I$  – множество мероприятий  $i$ -вида, например, рентген или флюорография являются мероприятиями вида приборно-компьютерных исследований. Обозначим через  $\Phi_{ij}, j \in J_i, i \in I[\text{грн}]$  – финансовые затраты, необходимые для проведения  $j$ -мероприятия  $i$ -вида для одного пациента.

Параметры модели, связанные с затратами рабочего времени для проведения одного  $j$ -мероприятия  $i$ -вида одному пациенту, представим в следующем виде:

- $\tau_{ij}^{\text{П}}[\text{час}]$  – затраты рабочего времени персонала ЛПУ;
- $\tau_{ij}^{\text{О}}[\text{час}]$  – затраты рабочего времени оборудования;
- $\tau_{ij}^{\text{Л}}[\text{час}]$  – затраты рабочего времени лаборатории.

Каждое скрининговое мероприятие имеет свое время актуальности, это означает, что период годности результатов каждого мероприятия свой: от нескольких часов до нескольких месяцев. Например, маркеры в клиническом анализе крови актуальны в течение нескольких часов, так как на состав крови влияет питание,

а результаты флюорографии можно использовать в течение года. По истечению срока годности мероприятия пациенту необходимо заново его проходить. Обозначим через  $\alpha_{ij}$  параметр, который характеризует необходимость проведения того или иного мероприятия:  $\alpha_{ij} = 1$ , если необходимо провести  $j$ -мероприятия  $i$ -вида,  $\alpha_{ij} = 0$  – в противном случае.

Пусть  $K$  – множество всех заболеваний, тогда  $K_a$  ( $K_a \in K$ ) – набор заболеваний, вероятность возникновения которых на данной территории очень велика. Обозначим  $\beta_k$  ( $k \in K_a$ ) – важность  $k$ -го заболевания с точки зрения обеспечения здоровья населения в данном регионе, причем  $\beta_k \geq 1, k \in K_a$ .

Для диагностики заболевания могут использоваться различные методы диагностирования. Обозначим  $R_k, k \in K$  – множество методов диагностики  $k$ -заболевания. Обозначим через  $\eta_{kr}$  параметр, характеризующий диагностическую эффективность  $r$ -метода диагностирования  $k$ -заболевания. Данный параметр получается как процентное отношение истинных, то есть соответствующих состоянию обследуемых пациентов результатов метода к общему числу полученных результатов [6].

Каждый метод диагностирования состоит из совокупности мероприятий. Тогда  $J_i^{kr}, i \in I^{kr}$  – множество мероприятий  $r$ -метода диагностики  $k$ -заболевания, при этом  $J_i^{kr} \subset J_i, I^{kr} \subset I, r \in R_k, k \in K$ . Предполагается, что, если выбран  $r$ -метод диагностирования  $k$ -заболевания, то выбраны и все мероприятия, которые в него включены. Введем матрицу  $A^{kr} = \{a_{ij}^{kr}\}$ , которая показывает из каких  $j$ -мероприятий  $i$ -вида мероприятий состоит  $r$ -метод диагностики для  $k$ -заболевания.

Пусть  $P$  – множество всех пациентов, которые обслуживаются в ЛПУ. Тогда  $S_p = \{S_{p_{ij}} : S_{p_{ij}} \in \{0, 1\}, p \in P, j \in J_i, i \in I\}$  – вектор индивидуального плана обследования  $p$ -го пациента ( $p \in P$ ), каждая компонента которого определяет включено или нет  $j$ -мероприятие  $i$ -вида в индивидуальный план, то есть  $S_{p_{ij}} = 1$ , если  $j$ -мероприятие  $i$ -вида включено в план обследования пациента и

$S_{p_{ij}} = 0$  – в противном случае. Обозначим  $\bar{t}_p$  – период планирования или месяц, в котором  $p$ -му пациенту рекомендовано пройти диспансеризацию.

Целью проведения скрининговых мероприятий является выявление возможных заболеваний пациента. Причиной нарушений нормального функционирования организма человека могут быть внешние факторы, а могут какие-то индивидуальные особенности или предрасположенности пациента. Введем параметр  $\rho_{kp}$  – риск развития  $k$ -го заболевания ( $k \in K$ ) у  $p$ -го пациента, рассчитанный на основании данных из медицинской карточки рассматриваемого пациента. Пусть  $K_p$  ( $K_p \in K$ ) – подмножество заболеваний пациента, вероятность возникновения которых у данного пациента очень велика, то есть риск развития рассматриваемого заболевания больше определенного порогового значения. Тогда список заболеваний для проведения скрининга для  $p$ -го пациента обозначим как  $K_{sp}$ , при этом  $K_{sp} = K_a \cup K_p$  – индивидуальный набор заболеваний. Для каждого пациента можно оценить важность прохождения диспансеризации для его здоровья. Обозначим через  $\gamma_p$  – весовой коэффициент, который характеризует интегральную характеристику важности диспансеризации  $p$ -го пациента ( $p \in P$ ).

$$\gamma_p = \sum_{k \in K_a} \beta_k \rho_{kp} \quad (1)$$

Введем переменную  $y_{kr}$ , которая обозначает выбор  $r$ -метода диагностики для  $k$ -заболевания.

Введем переменную  $x_{ij}$ , которая обозначает, что проводится или не проводится  $j$ -мероприятие  $i$ -вида.

Обозначим через  $z_{pt}, p \in P, t \in (\bar{I}, \bar{T})$  переменную, обозначающую индикатор выбора  $p$ -го пациента для прохождения диспансеризации в  $t$ -ом периоде, то есть  $z_{pt} = 1$ , если пациент  $p$  запланирован на диспансеризацию и  $z_{pt} = 0$  – в противном случае.

Таким образом, формирование индивидуального плана проведения скрининговых мероприятий для одного пациента и нахождение определенного количества пациентов для каждого периода в условиях ограниченных ресурсов ЛПУ для проведения скрининговых мероприятий, будем рассматривать на основе пара-

метров и переменных, определяющих различные методы диагностирования и их процедуры, а также различные затраты для проведения скрининговых мероприятий.

**МОДЕЛЬ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО НАБОРА СКРИНИНГОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ**

Рассмотрим задачу формирования индивидуального плана обследования. Она связана с обработкой данных из карточки пациента, где информация хранится в структурированной форме.

Количество процедур должно быть минимально ввиду того, что пациенты не хотят проводить долгое время в медицинском учреждении, при этом учитываются актуальные данные из карточки пациента, если пациент в недавнем времени проходил часть процедур. Данный критерий отражается в следующем виде:

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} \alpha_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \alpha_{ij} \in \{0, 1\} \tag{2}$$

Для каждого заболевания выбирается один метод диагностирования, причем эффект от выбранного метода должен быть максимальным. Поставленные условия отражают следующий критерий (3) и ограничение (4):

$$\sum_{k \in K_{sp}} \sum_{r \in R_k} \eta_{kr} \cdot y_{kr} \rightarrow \max \tag{3}$$

$$\sum_r y_{kr} = 1, \forall k \in K_{sp}, y_{kr} \in R_k \tag{4}$$

Выбранные методы диагностирования из выражения (3) подразумевают проведение определенных мероприятий, включенных в эти методы, что показывает матрица  $A^{kr} = \{a_{ij}^{kr}\}$ . Взаимосвязь между методами диагностирования и скрининговыми мероприятиями отражена в ограничении (5):

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \sum_{k \in K_{sp}} \sum_{r \in R_k} a_{ij}^{kr} y_{kr} \geq 1 \\ 0, & \sum_{k \in K_{sp}} \sum_{r \in R_k} a_{ij}^{kr} y_{kr} = 0 \end{cases} \quad i \in I, j \in J_i, y_{kr} \in R \tag{5}$$

На основе сформулированных целевых функций и ограничений модели можно записать постановку двухкритериальной задачи выбора оптимального набора скрининговых мероприятий: найти множество процедур, проводимых с пациентом, удовлетворяющих це-

левым функциям (2) и (3) и ограничениям (4) и (5). Данная задача принадлежит к классу задач целочисленного программирования.

В результате решения задачи (2)-(5) выбирается одно из множества эффективных решений, которое соответствует векторам переменных  $\overline{x}_p^*$  и  $\overline{y}_p^*$ . После этого формируется вектор индивидуального плана обследования  $p$ -го пациента следующим образом:

$$S_{pij} = \begin{cases} \overline{x}_{pij}^*, & \text{если } \alpha_{ij} = 1 \\ 0, & \text{если } \alpha_{ij} = 0 \end{cases}$$

Сформированный вектор впоследствии используется при решении задачи определения группы пациентов для прохождения диспансеризации в условиях ограниченного бюджета.

**Пример № 1.** Пациенту необходимо сформировать набор скрининговых мероприятий при следующих условиях. Результаты некоторых мероприятий присутствуют в медицинской карте пациента, а именно: флюорография, ультразвуковые исследования организма, клинический анализ крови.

Учитывая предписания Министерства здравоохранения, а также статистику заболеваемости на данной территории, был сформирован список заболеваний, на наличие которых необходимо проверить пациентов:  $k_1$  – нарушения органов дыхания,  $k_2$  – сердечно-сосудистые заболевания,  $k_3$  – появление злокачественных образований,  $k_4$  – проверка слуха.

Для проверки перечисленных нарушений здоровья в медицинском учреждении можно провести следующие мероприятия:

- приборно-компьютерные:  $x_{11}$  – электрокардиограмма,  $x_{12}$  – флюорография,  $x_{13}$  – эхокардиограмма,  $x_{14}$  – ультразвуковые исследования организма,  $x_{15}$  – аудиометр;
- диагностическо-лабораторные обследования:  $x_{21}$  – клинический анализ крови,  $x_{22}$  – биохимический анализ крови,  $x_{23}$  – клинический анализ мочи;
- прием врача:  $x_{31}$  – прием пульмонолога,  $x_{32}$  – прием кардиолога,  $x_{33}$  – прием терапевта,  $x_{34}$  – прием онколога.

Для первой группы заболеваний предлагаются два метода диагностирования  $y_{11}$  и  $y_{12}$  с эффективностью  $\eta_{11} = 0.9$  и  $\eta_{12} = 0.95$  соответственно. Матрицы,

показывающие взаимосвязь между мероприятиями и методами для диагностирования нарушений органов дыхания представлены в следующем виде:

$$A^{11} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$A^{12} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Остальные матрицы для методов диагностирования заболеваний  $k_2$ ,  $k_3$  и  $k_4$  и эффективности этих методов приведены ниже:

$$A^{21} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \eta_{21} = 0.8$$

$$A^{22} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \eta_{22} = 0.89$$

$$A^{23} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \eta_{23} = 0.98$$

$$A^{24} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \eta_{24} = 0.98$$

$$A^{31} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \eta_{31} = 0.8$$

$$A^{32} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \eta_{32} = 0.8$$

$$A^{33} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, \eta_{33} = 0.87$$

$$A^{41} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \eta_{41} = 0.95$$

$$A^{42} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \eta_{42} = 0.95$$

Ограничения (4) на количество используемых методов диагностирования:

$$\begin{aligned} k_1: & y_{11} + y_{12} = 1 \\ k_2: & y_{21} + y_{22} + y_{23} + y_{24} = 1 \\ k_3: & y_{31} + y_{32} + y_{33} = 1 \\ k_4: & y_{41} + y_{42} = 1 \end{aligned}$$

Для каждого  $x_{ij}$  мероприятия есть свое ограничение из (5), пример для  $x_{13}$  - эхокардиограммы приведен ниже:

$$x_{13} = \begin{cases} 1, y_{11}a_{13}^{11} + y_{12}a_{13}^{12} + y_{21}a_{13}^{21} + y_{22}a_{13}^{22} + y_{23}a_{13}^{23} + y_{24}a_{13}^{24} + y_{31}a_{13}^{31} + y_{32}a_{13}^{32} + y_{33}a_{13}^{33} + y_{41}a_{13}^{41} + y_{42}a_{13}^{42} \geq 1 \\ 0, y_{11}a_{13}^{11} + y_{12}a_{13}^{12} + y_{21}a_{13}^{21} + y_{22}a_{13}^{22} + y_{23}a_{13}^{23} + y_{24}a_{13}^{24} + y_{31}a_{13}^{31} + y_{32}a_{13}^{32} + y_{33}a_{13}^{33} + y_{41}a_{13}^{41} + y_{42}a_{13}^{42} = 0 \end{cases}$$

В зависимости от целей, которые стоят перед руководством, можно использовать тот или иной критерий: если необходимо минимизировать время и затраты пациентов и медицинского учреждения, то основным будет критерий (2), если требуется диагностика

пациента с максимальной эффективностью, то тогда нужно использовать критерий (3). Если перед руководителем встает вопрос о нахождении компромиссного решения в условиях двухкритериальной задачи, то в этом случае необходимо применять соответствующие

методы решения многокритериальных задач оптимизации, например, метод последовательных уступок, метод ветвей и границ, метод свертки и другие.

В условиях поставленной задачи у пациента в медицинской карте присутствуют результаты некоторых скрининговых процедур, поэтому необходимость проведения того или иного мероприятия выглядит следующим образом:  $\alpha_{12} = 0, \alpha_{14} = 0, \alpha_{21} = 0$  - это значит, что флюорографию, УЗИ, биохимический анализ крови не надо заново проводить, для остальных процедур параметр  $\alpha = 1$ .

Критерий минимальности мероприятий с учетом информации из карточки пациента выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} & \alpha_{11}x_{11} + \alpha_{12}x_{12} + \alpha_{13}x_{13} + \alpha_{14}x_{14} + \alpha_{15}x_{15} + \\ & + \alpha_{21}x_{21} + \alpha_{22}x_{22} + \alpha_{23}x_{23} + \alpha_{31}x_{31} + \\ & + \alpha_{32}x_{32} + \alpha_{33}x_{33} + \alpha_{34}x_{34} = \\ & = x_{11} + x_{13} + x_{15} + x_{22} + x_{23} + \\ & + x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} \rightarrow \min \end{aligned}$$

Критерий выбора методов диагностирования с максимальной эффективностью выглядит следующим образом:

$$\begin{aligned} & 0.9 \cdot y_{11} + 0.95 \cdot y_{12} + 0.8 \cdot y_{21} + \\ & + 0.89 \cdot y_{22} + 0.98 \cdot y_{23} + 0.98 \cdot y_{24} + \\ & + 0.8 \cdot y_{31} + 0.8 \cdot y_{32} + 0.87 \cdot y_{33} + \\ & + 0.95 \cdot y_{41} + 0.95 \cdot y_{42} \rightarrow \max \end{aligned}$$

При решении многокритериальной задачи в поставленных условиях был найдено следующее решение, при котором все ограничения и условия оптимальности выполнены:

$$\begin{aligned} & y_{12} = 1; y_{23} = 1; y_{33} = 1; y_{42} = 1; \\ & x_{11} = 1; x_{13} = 1; x_{15} = 1; x_{22} = \\ & = 1; x_{31} = 1; x_{33} = 1; x_{34} = 1 \end{aligned}$$

Найденное решение показывает, что для рассматриваемого пациента с учетом информации в медицинской карте необходимо провести следующие скрининговые мероприятия: электрокардиограмму сердца, эхокардиограмму, пройти исследования с помощью аудиометра, сделать биохимический анализ крови, а также пройти прием у пульмонолога, терапевта и онколога.

### МОДЕЛЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МНОЖЕСТВА ПАЦИЕНТОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ СКРИНИНГОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

На проведение скрининговых мероприятий, а конкретно диспансеризации накладываются ограничения медицинского учреждения в виде небольшого бюджета, выделенного на год, и рабочего графика врачей-специалистов. Поэтому необходимо выделить группу пациентов, которые больше всего нуждаются в прохождении скрининговых мероприятий, то есть у таких пациентов будет самое большое значение интегрального показателя важности диспансеризации. Данный критерий выбора пациентов можно отобразить в следующем виде:

$$\sum_{t=1}^T \sum_{p \in P} \gamma_p z_{pt} \rightarrow \max \quad (6)$$

Все финансовые затраты, необходимые для проведения различных мероприятий для выбранных пациентов, не должны превышать статьи расхода в бюджете ЛПУ, которая была выделена на проведение диспансеризации.

$$\sum_{t=1}^T \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} \varphi_{ij} S_{p ij} z_{pt} \leq \Phi \quad (7)$$

Рабочее время персонала, оборудования или лабораторий, потраченное на проведение диспансеризации пациентов в определенном месяце, не должно превышать выделенного лимита рабочих часов. Это условие отражено в ограничениях (8), где первое уравнение описывает временные затраты персонала, а второе и третье – оборудования и лабораторий соответственно.

$$\begin{aligned} & \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} \tau_{ij}^O S_{p ij} z_{pt} \leq \theta_t^O, \forall t = \overline{1, T} \\ & \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} \tau_{ij}^L S_{p ij} z_{pt} \leq \theta_t^L, \forall t = \overline{1, T} \\ & \sum_{p \in P} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J_i} \tau_{ij}^H S_{p ij} z_{pt} \leq \theta_t^H, \forall t = \overline{1, T} \end{aligned} \quad (8)$$

Пациента можно выбрать для прохождения диспансеризации в ЛПУ не более, чем один раз за год. Это условие соответствует ограничению (9).

$$\sum_{t=1}^T z_{pt} \leq 1, \forall p \in P, z_{pt} \in \{0, 1\} \quad (9)$$

Прохождение диспансеризации пациента должно начаться не раньше того периода, в котором р-му пациенту рекомендовано пройти диспансеризацию:

$$\sum_{t=1}^{\bar{t}_p-1} z_{pt} = 0, \forall p \in P, t \in (\bar{1}, \bar{T}) \quad (10)$$

На основе сформулированной целевой функции и ограничений можно записать модель задачи определения количества пациентов в условиях ограниченных ресурсов для проведения скрининговых мероприятий: определить максимально возможное число пациентов для диспансеризации, удовлетворяющих целевой функции (6) и ограничениям (1), (7)-(10). Сформулированная задача принадлежит к классу задач целочисленного программирования.

**Пример № 2.** По условиям предыдущей задачи был сформирован список заболеваний, на наличие которых необходимо проверить пациентов, а также определена важность каждого заболевания по данному региону:  $k_1$  – нарушения органов дыхания,  $\beta_1 = 1,1$ ;  $k_2$  – сердечнососудистые заболевания,  $\beta_2 = 1,6$ ;  $k_3$  – появление злокачественных образований,  $\beta_3 = 1,5$ ;  $k_4$  – проверка слуха,  $\beta_4 = 1,01$ .

Для проверки пациентов на наличие рассматриваемых заболеваний были определены ряд мероприятий. Финансовые и временные затраты, необходимые для проведения  $j$ -мероприятия  $i$ -вида для одного пациента представлены ниже:

	$\varphi_{ij}$ [грн]	$\tau_{ij}$ [час]		$\varphi_{ij}$ [грн]	$\tau_{ij}$ [час]
$x_{11}$	15	0,83	$x_{21}$	5	0,25
$x_{12}$	2	0,25	$x_{22}$	50	0,33
$x_{13}$	18	0,5	$x_{23}$	20	0,25
$x_{14}$	3	0,16	$x_{31}$	2	0,33
$x_{15}$	13	0,33	$x_{32}$	2	0,33

Пусть для диспансеризации необходимо рассмотреть пять пациентов. Для каждого пациента был определен риск развития  $\rho_{kp}$  рассматриваемых заболеваний:

	$\rho_{k1}$	$\rho_{k2}$	$\rho_{k3}$	$\rho_{k4}$	$\rho_{k5}$
$k_1$	0,7	0	0,1	0	0
$k_2$	0,5	0,5	0,8	0,7	0,1
$k_3$	0	0,6	0,2	0	0,15
$k_4$	0	0	0,05	0	0

Для каждого пациента при решении предыдущей задачи был сформирован вектор индивидуального плана обследования вида  $S_{p_{ij}} = (x_{11}x_{12}x_{13}x_{14}x_{15}x_{21}x_{22}x_{23}x_{31}x_{32})$ , а также известен месяц, начиная с которого рекомендовано проводить обследования:

Пациент	Набор	Месяц для диспансеризации
1	$S_{1ij} = (1100000010)$	7
2	$S_{2ij} = (0110001100)$	5
3	$S_{3ij} = (0000011111)$	5
4	$S_{4ij} = (1100110011)$	1
5	$S_{5ij} = (0010110100)$	9

По формуле (1) определена интегральная характеристика важности диспансеризации каждого пациента:  $\gamma_1 = 1,57$ ,  $\gamma_2 = 1,7$ ,  $\gamma_3 = 1,74$ ,  $\gamma_4 = 1,12$ ,  $\gamma_5 = 0,385$ . Тогда критерий выбора пациентов (6) выглядит следующим образом:

$$1,57 \sum_{t=1}^{12} z_{1t} + 1,7 \sum_{t=1}^{12} z_{2t} + 1,74 \sum_{t=1}^{12} z_{3t} + 1,12 \sum_{t=1}^{12} z_{4t} + 0,385 \sum_{t=1}^{12} z_{5t} \rightarrow \max$$

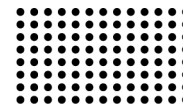
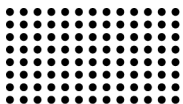
На год на проведение диспансеризации выделено 150 грн. Тогда ограничение (7) выглядит следующим образом:

$$(15 + 2 + 2) \sum_{t=1}^{12} z_{1t} + (2 + 18 + 50 + 20) \sum_{t=1}^{12} z_{2t} + (5 + 50 + 20 + 2 + 2) \sum_{t=1}^{12} z_{3t} + (15 + 2 + 13 + 5 + 2) \sum_{t=1}^{12} z_{4t} + (18 + 13 + 5 + 20) \sum_{t=1}^{12} z_{5t} = 19 \sum_{t=1}^{12} z_{1t} + 90 \sum_{t=1}^{12} z_{2t} + 79 \sum_{t=1}^{12} z_{3t} + 37 \sum_{t=1}^{12} z_{4t} + 56 \sum_{t=1}^{12} z_{5t} \leq 150$$

Для диспансеризации определены временные рамки работы в месяц: на работу оборудования выделено не более 10 часов, то есть  $\theta_t^0 = 10$ , на работу

лаборатории – не более 9 часов, то есть  $\theta_t^I = 9$ , работа врачей ограничена 5 часами в месяц, то есть  $\theta_t^{II} = 5$ .





Группа ограничений (8) по работе оборудования выглядит следующим образом:

$$z_{11}(0.83 + 0.25) + z_{21}(0.25 + 0.5) + z_{41}(0.83 + 0.25 + 0.33) + z_{51}(0.6 + 0.33) \leq 10$$

$$z_{12}(0.83 + 0.25) + z_{22}(0.25 + 0.5) + z_{42}(0.83 + 0.25 + 0.33) + z_{52}(0.6 + 0.33) \leq 10$$

...

$$z_{112}(0.83 + 0.25) + z_{212}(0.25 + 0.5) + z_{412}(0.83 + 0.25 + 0.33) + z_{512}(0.6 + 0.33) \leq 10$$

Двенадцать ограничений вида (8) для лабораторий:

$$z_{21}(0.33 + 0.25) + z_{31}(0.25 + 0.33 + 0.25) + z_{41}0.25 + z_{51}(0.25 + 0.25) \leq 9$$

$$z_{22}(0.33 + 0.25) + z_{32}(0.25 + 0.33 + 0.25) + z_{42}0.25 + z_{52}(0.25 + 0.25) \leq 9$$

...

$$z_{212}(0.33 + 0.25) + z_{312}(0.25 + 0.33 + 0.25) + z_{412}0.25 + z_{512}(0.25 + 0.25) \leq 9$$

Двенадцать ограничений вида (8) для работы персонала:

$$z_{11}0.33 + z_{31}(0.33 + 0.33) + z_{41}0.33 \leq 5$$

$$z_{12}0.33 + z_{32}(0.33 + 0.33) + z_{42}0.33 \leq 5$$

...

$$z_{112}0.33 + z_{312}(0.33 + 0.33) + z_{412}0.33 \leq 5$$

Неравенства (9) накладывают ограничения на срок проведения диспансеризации для каждого пациента, который равен одному месяцу:

$$\sum_{t=1}^{12} z_{1t} \leq 1; \sum_{t=1}^{12} z_{2t} \leq 1; \sum_{t=1}^{12} z_{3t} \leq 1; \sum_{t=1}^{12} z_{4t} \leq 1; \sum_{t=1}^{12} z_{5t} \leq 1$$

Зная информацию о том, когда пациенту можно начать проходить скрининговые мероприятия, можно записать ограничения (10):

$$\sum_{t=1}^6 z_{1t} = 0; \sum_{t=1}^4 z_{2t} = 0; \sum_{t=1}^4 z_{3t} = 0; \sum_{t=1}^8 z_{5t} = 0$$

Учитывая целочисленность значений  $z_{pt}$ , было найдено решение поставленной задачи:

$$z_{111} = 1; z_{312} = 1; z_{47} = 1$$

Полученное решение говорит о том, что пациентам 1, 3 и 4 рекомендовано пройти диспансеризацию в ноябре, декабре и июле соответственно.

### ВЫВОДЫ:

1. Получила дальнейшее развитие постановка задачи планирования в медицинском учреждении за счет рассмотрения скрининговых мероприятий на основе формирования индивидуальных планов обследования пациентов и их группировки.

2. Разработаны модели задач формирования индивидуального плана обследования и выделения группы пациентов для прохождения диспансеризации, которые позволяют учитывать данные медицинских карточек пациентов для формирования динамических наборов скрининговых мероприятий в условиях ограниченных ресурсов.

3. Проведены тестовые расчеты решения задач планирования скрининговых мероприятий, что подтвердило практическую значимость результатов их решения для медицинских учреждений.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Bol'shaya Meditsinskaya Entsiklopediya. Rezhim dostupa: [http://bigmeden.ru/article 10.10.13].
2. Solodkiy V.A. Planirovaniye raskhodov mestnykh byudzhetrov na zdravookhraneniye v tselyakh realizatsii Programmy Gosudarstvennykh garantiy po obespecheniyu naseleniya meditsinskoy pomoshch'yu /V.A. Solodkiy //Zdravookhraneniye: zhurn. dlya rukovoditelya i gl. bukhgaltera. – 1999. – №5. – S.7-22.
3. Spiryakin Yu.Yu. Planirovaniye raskhodov lechenno-profilakticheskogo uchrezhdeniya /Yu.Yu. Spiryakin //Sovetnik bukhgaltera v zdravookhraneni. – 2005. – №8 – S.3-5.
4. Korablev V.N. Ispol'zovaniye innovatsionnykh tekhnologiy upravleniya dlya povysheniya effektivnosti zdravookhraneniya regiona. Rezhim dostupa: [http://www.medlinks.ru/sections.php?op=listarticles&secid=135 15.10.13]
5. Khrutskiy V.Ye. Vnutrifirmennoye byudzhetrovaniye: Nastol'naya kniga po postanovke finansovogo planirovaniya /V.Ye. Khrutskiy, T.V. Sizova, V.V. Gamayunov. – M.: Finansy i statistika, 2002.
6. Vlasov V.V. Effektivnost' diagnosticheskikh issledovaniy. – M.: Meditsina, 1988. – 246 s.

**Рецензент:** д.т.н., проф. Годлевский М.Д., НТУ «Харьковский политехнический институт», Харьков.