

Е. И. Шульман, А. Г. Микшин, Д. Ю. Пшеничников,
М. В. Глазатов, Г. З. Рот
(Новосибирск)

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ЛЕЧЕБНОГО ПРОЦЕССА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИНАМИЧЕСКОГО
МНОГОСЛОЙНОГО ИНТЕРФЕЙСА

Рассмотрено обоснование использования динамического многослойного интерфейса при назначении врачами медикаментов в клинической интранет-системе. Дана оценка времени, необходимого для выбора медикаментов, по модели GOMS. Приведены функции поддержки принятия врачебных решений, работающие в реальном масштабе времени, ориентированные на всестороннее информирование медицинского персонала, обеспечивающего процесс лечения, и имеющие целью уменьшение частоты ошибочных действий.

Введение. Высокая частота ошибок, допускаемых врачами при назначении медикаментозных воздействий, представляет собой серьезную медицинскую, социальную и экономическую проблему [1]. По оценке Института медицины США в больницах этой страны ежегодно умирает вследствие ошибочных назначений медикаментов около 7000 пациентов [2].

В последние годы было показано, что использование алгоритмов поддержки принятия врачебных решений (ППВР) в ходе назначения медикаментов приводит к существенному уменьшению частоты ошибок медицинского персонала [3]. Эти данные инициировали запуск процесса внедрения в ряде зарубежных больниц систем компьютерного заказа назначений, получивших название систем СРОЕ (Computerized Physician Order Entry), снабженных функциями ППВР [3, 4]. Однако внедрение таких систем натолкнулось на некоторые препятствия, не дало желаемых результатов и не получило широкого распространения [5].

Постановка задачи. Существующие системы компьютерного заказа назначений имеют значительный недостаток, выражающийся в том, что требуются специальные усилия для ввода информации о пациентах и их заболеваниях, необходимой для заказа назначений. В случае реализации функций таких систем в составе полнофункциональных клинических информационных систем (ИС) необходимость ввода отпадает, так как все данные попадают в систему при возникновении и легко доступны врачам при назначении медикаментов. Такой подход позволяет избавиться от первой причины неудач внедрения систем СРОЕ. Еще два недостатка состоят в том, что эти системы неудобны в использовании [6] и замедляют работу врачей [5, 7].

Замедленная работа в системе по сравнению с традиционным «бумажным» способом и неудобства в выборе медикаментов при назначении являются следствием того, что список препаратов, который врач может использовать при заказе назначений, содержит от нескольких сотен до нескольких тысяч наименований. Причем многие из препаратов представлены различными формами выпуска и имеют различные объемные характеристики (вес единицы, количество единиц в одном стандарте). Поиск каждого необходимого для назначения пациенту препарата в таком списке требует от врача значительных усилий и времени.

Наиболее быстрый способ выбора элемента из отсортированного по алфавиту списка, содержащего сотни названий медикаментов, для опытного пользователя состоит в вводе с клавиатуры нескольких первых букв требуемого названия, при котором курсор позиционируется на первом названии, содержащем последовательность введенных символов. Однако при этом врач не имеет возможности удобного и быстрого просмотра всего списка препаратов, так как для этого требуется позиционирование указателя мыши на полосе прокрутки и перемещение его в вертикальном направлении. Кроме того, большая часть врачей не обладает достаточными навыками работы с клавиатурой. Нам не удалось обнаружить в литературных источниках статистические данные о количестве врачей (в процентном отношении), являющихся опытными пользователями. По нашим данным, полученным в ходе внедрения клинической информационной системы в семи больницах, не более 15–20 % медицинского персонала имеют хотя бы небольшой опыт использования компьютера, а опытных пользователей среди них – единицы.

Это означает, что необходима разработка специального программного интерфейса, который позволил бы максимально быстро просматривать список препаратов и выбирать из него требуемые для назначения медикаменты без использования клавиатуры.

Решение поставленной задачи осуществлено в рамках проекта по созданию полнофункциональной клинической ИС нового поколения «ДОКА+», представляющей собой интранет-систему. В основу разработки положены системные и инструментальные средства с открытыми кодами: ОС Linux, Web-сервер Apache, СУБД InterBase, языки программирования PHP и JavaScript. Важная роль в осуществлении проекта вообще и решении рассматриваемой задачи в предлагаемой работе в частности принадлежит принципу динамического многослойного интерфейса (ДМИ), реализация которого, наряду с описанной ранее структурной моделью системы [8], обеспечила успешное применение ее в больницах различного статуса [9].

Динамический многослойный интерфейс. Создание приемлемого для врачей программного интерфейса выбора медикаментов без использования клавиатуры требует решения двух связанных между собой задач. Первая из них состоит в адекватном разбиении препаратов на группы, которое позволило бы врачам максимально просто находить их в иерархическом списке, перемещая по нему указатель мыши. Вторая заключается в разработке такого пользовательского интерфейса, который позволил бы минимизировать количество манипуляций мышью, выполняемых для выбора требуемых препаратов, и количество экранных форм, необходимых для заказа назначений.

Первая задача сводится к тому, чтобы располагать названия всех препаратов списка на одном экране вместе с элементами check-box (для пометки выбираемых препаратов) экранной формы. Это делает препараты доступными для выбора без перемещения полос прокрутки, затрудняющих и замедля-

ющих поиск требуемых медикаментов, используемых при выходе формы за пределы экрана. Решение состоит в том, чтобы заполнять экран упорядоченными группами препаратов, снабдив врача возможностью простого и быстрого инициирования запроса на вывод той или иной группы.

Для этого, во-первых, производится разбиение упорядоченного по алфавиту множества $D = \{d_1, \dots, d_s\}$ названий всех s препаратов на n подмножеств:

$$D_i = \{d_{i,1}, \dots, d_{i,r_i}\}, \quad i = 1, \dots, n, \quad \sum_{i=1}^n r_i = s,$$

так чтобы все элементы каждого из них разместились на одном экране, и, во-вторых, формируется отображение подмножеств $D_i = G_i, i = 1, \dots, n$, где G_i – такое экранное представление подмножества D_i , которое, занимая минимально возможное место в одной строке, позволяет легко управлять их выводом. Для такого управления все представления G_i размещаются в относительно узком столбце левой части экранной формы одновременно, а вывод одного из подмножеств D_i производится в остальной ее части.

Число препаратов, отображаемых описанным образом в одной экранной форме, имеет ограничение $s = N^2$ (N – число строк экрана, отводимое для вывода элементов подмножества D_i). В общем случае можно принять $n = \text{int}(\sqrt{s}) + 1$, если $\sqrt{s} = \text{int}(\sqrt{s})$. Это же значение является начальным приближением для последующего получения точного значения r_i , которое для каждого подмножества D_i должно быть таким, чтобы выполнялось неравенство

$$d_{i,r_i} \leq d_{i-1,1}. \quad (1)$$

Если при разбиении множества D с исходным значением $r_i = n$ для какого-либо i неверно неравенство (1), то элемент $d_{i-1,1}$ из подмножества D_{i-1} переносится в D_i (при этом $r_i = r_i + 1$ и $r_{i-1} = r_{i-1} - 1$). Эти действия повторяются, пока не выполнится неравенство (1) для каждого подмножества D_i . Необходимость условия (1) вызвана тем, что препараты с одним и тем же названием, имеющие различные характеристики, не должны попадать в различные подмножества, так как это затруднит их выбор.

Решение второй задачи состоит в следующем. Представление G_i подмножества D_i в столбце экранной формы осуществляется путем вывода нескольких первых символов названий элементов $d_{i,1}$ и d_{i,r_i} , разделенных многоточием (рис. 1, левый столбец в правом окне). Число символов выбирается минимально достаточным, чтобы не было совпадающих сочетаний. Самая длинная по количеству символов пара сочетаний определяет ширину столбца. Названия всех препаратов из любого подмножества D_i помещаются во втором столбце (см. рис. 1, правый столбец в правом окне).

Для вывода каждого столбца на экран используется свой слой изображения. При перемещении указателя мыши в вертикальном направлении по элементу G_i в первом слое формируется и выводится столбец с подмножеством D_i во втором слое, справа от первого. Слева от названия каждого препарата в этом столбце располагается элемент check-box, служащий для выбора препарата. Область, в которую должен попасть указатель мыши для активации этого элемента после нажатия левой кнопки, соответствует прямоугольной полосе (ячейке таблицы), в которой располагаются название препарата и его ха-

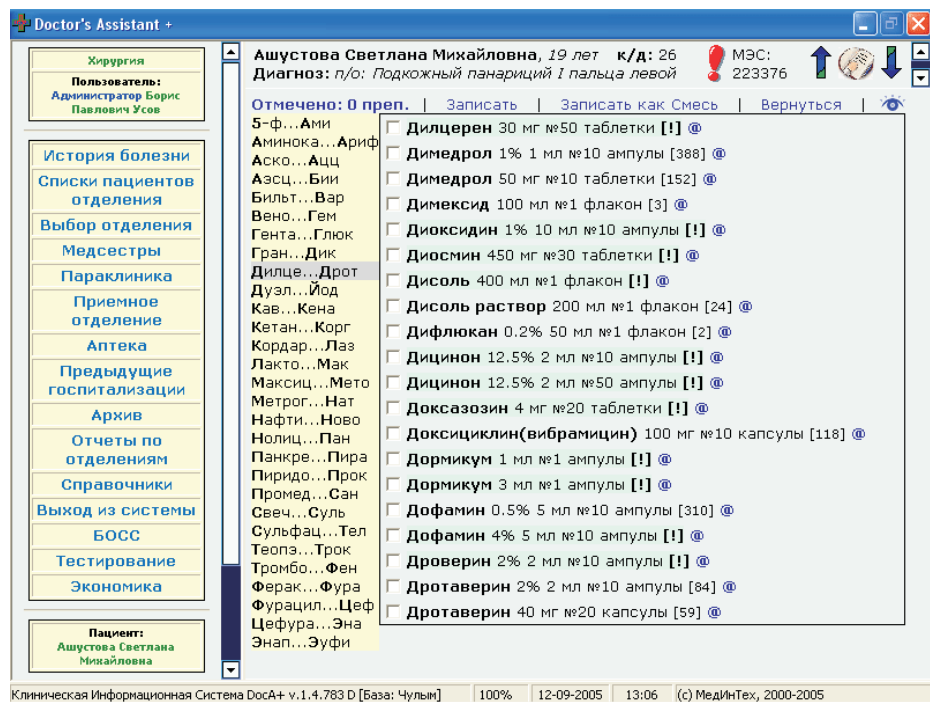


Рис. 1. Экранная форма системы, иллюстрирующая работу динамического многослойного интерфейса при назначении медикаментов. В левом окне представлено главное меню системы

рактические. Символ «@», завершающий строку, является гиперссылкой на рекомендации по применению препарата.

Первая экранная форма (см. рис. 1), предъявляемая врачу при выборе препаратов для их назначения, представляет собой реализацию динамического многослойного интерфейса. Его использование позволяет ограничить одним экраном область перемещения указателя мыши при выборе препаратов и, следовательно, минимизировать интервал времени, необходимый врачу для указания системе всего требуемого для назначения пациенту набора препаратов.

Вторая экранная форма служит для уточнения ряда параметров, необходимых при выполнении медикаментозных назначений (дозы препаратов, пути их введения и т. д.). По умолчанию параметрам присваиваются рекомендуемые наиболее часто используемые значения, хранящиеся в базе данных системы вместе со справочником препаратов. После окончания работы со второй формой иницируются встроенные в систему функции ППВР, предназначенные для обнаружения возможных ошибок, допускаемых врачами в процессе назначения препаратов.

Оценка времени, затрачиваемого на выбор препаратов. Для сравнения времени, требуемого на выбор препаратов из списка посредством ДМИ и с использованием клавиатуры, была применена модель GOMS [10]. Оценка времени t_{key} , нужного для выбора одного препарата с помощью клавиатуры, определяется по формуле

$$t_{key} = H + M + (K + K + \dots + K) + M + K + H. \quad (2)$$

Здесь H – время, необходимое пользователю на перемещение руки с клавиатуры на мышь или наоборот, $H = 0,4$ с; M – время, требуемое для ментальной подготовки к действию (ввод названия препарата, завершение ввода), $M = 1,35$ с; K – время, требуемое на нажатие одной клавиши при вводе символов названия, на нажатие клавиши « \leftarrow » при спуске на позицию с препаратом, а также на завершение выбора (Enter), $K = 0,2$ с для опытного пользователя, имеющего скорость ввода с клавиатуры 55 слов в минуту. Это значение K включает в себя время на поиск клавиши и на исправление замеченных сразу ошибок. Для начинающего пользователя $K = 1,2$ с. Числовые значения M , K и H взяты из [10].

Внесем коррективы в формулу (2) в соответствии с известными свойствами процесса назначения медикаментов. Во-первых, в большинстве случаев врач назначает не один препарат, а сразу несколько. Следовательно, для определения времени, необходимого врачу на перемещение руки с клавиатуры на мышь или наоборот, надо учитывать среднее количество препаратов, которые назначаются в течение одного входа в список. Во-вторых, надо учесть среднее количество символов, которые нужно ввести с клавиатуры для попадания на требуемое название препарата в списке. В-третьих, надо определить среднее число нажатий на клавишу « \leftarrow », необходимое для спуска на позицию с препаратом, имеющим нужные врачу характеристики (различные формы выпуска и объемные характеристики). С учетом этих корректив формула (2) приобретает следующий вид:

$$t_{\text{key}} = \frac{1}{3,30} H + M + K + K + M + K + \frac{1}{3,61} H, \quad (3)$$

где $3,30$ – среднее число препаратов, назначаемых за один вход в список; $3,61$ – среднее число клавиш, на которые необходимо нажать для попадания в списке на требуемое название препарата; $0,38$ – среднее число нажатий на клавишу « \leftarrow » для спуска на позицию с препаратом, имеющим нужные характеристики. Значения переменных \bar{n} , \bar{m} вычислены для подстановки в формулу (3) по списку из 534 препаратов, используемых в системе «ДОКА+» в Чулымской центральной районной больнице. Подставив приведенные значения в (3), получим $t_{\text{key}} = 3,94$ с. Для начинающего пользователя оценка времени по формуле (3) на выбор одного препарата составляет 8,93 с.

Аналогичная оценка времени t_{DMI} , затрачиваемого на выбор одного препарата при использовании ДМИ, определяется по формуле

$$t_{\text{DMI}} = M + P + P + K, \quad (4)$$

где $P = 1,1$ с – время, необходимое для указания требуемой позиции на экране монитора [10]. Эта оценка складывается из: 1) ментальной подготовки к выбору препарата (M); 2) позиционирования курсора сначала в первом, а затем во втором столбце (P); 3) нажатия кнопки мыши для фиксации выбора препарата (K). Из (4) получаем $t_{\text{DMI}} = 3,75$ с.

Таким образом, количественные оценки времени, необходимого для выбора препаратов с применением клавиатуры опытным пользователем и при использовании ДМИ, полученные по модели GOMS, не имеют существенного отличия. Однако неопытному пользователю нужно примерно в 2,4 раза больше времени. Кроме того, предложенный способ не требует переключе-

ния внимания врача с клавиатуры на мышь и обратно при назначении медикаментов и позволяет просматривать весь список препаратов на одном экране.

Дополнительные алгоритмы. В случае $N^2 \leq N^3$ в системе инициируется алгоритм, позволяющий произвести разбиение каждого из подмножеств D_i , аналогичное разбиению множества D . Подмножества каждого D_i отображаются на экране таким же образом в промежуточном слое, располагаемом между двумя слоями, описанными выше. При этом формула (4) имеет вид

$$t_{\text{ДМИ}} = M \cdot P \cdot P \cdot P \cdot K,$$

так как позиционирование мыши необходимо производить в трех слоях изображения, откуда $t_{\text{ДМИ}} = 4,85$. Но в таком случае могут увеличиться и переменные t_{key} и t_{mouse} , следовательно, оценка $t_{\text{ДМИ}}$ может превосходить оценку t_{key} для опытного пользователя не более, чем на $(t_{\text{ДМИ}} - t_{\text{key}}) / t_{\text{ДМИ}} = 19\%$.

В системе предусмотрен способ выбора препаратов для назначения из фармакологических групп, имеющих общепринятые названия. В фармакологическую группу может входить от нескольких препаратов до нескольких десятков, а число таких групп доходит до нескольких сотен. Такой способ работы может оказаться предпочтительным для врача, делающего назначения, в той или иной ситуации. Его реализация в системе состоит в том, что разбиению, рассмотренному выше, подвергается множество названий фармакологических групп. На экране эти названия занимают второй (средний) слой, а названия препаратов, входящих в группу, размещаются в третьем (правом) слое (рис. 2).

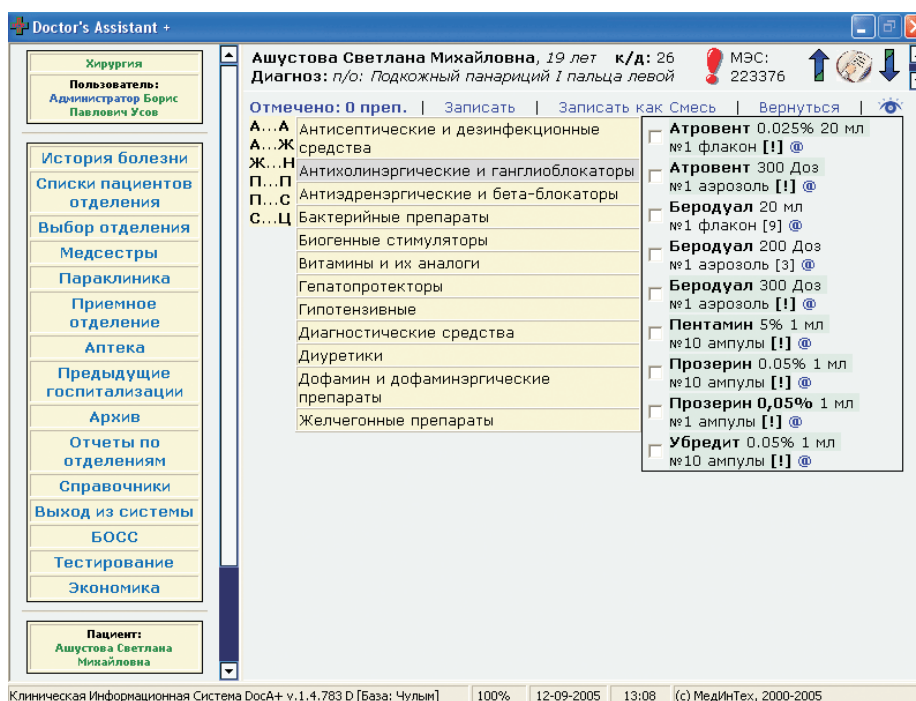


Рис. 2. Экранная форма, предъявляемая врачу для выбора препаратов из фармаколо-

При перемещении указателя мыши в вертикальном направлении по элементу первого столбца формируется и выводится в среднем слое второй столбец. Третий столбец выводится, когда указатель мыши перемещается в вертикальном направлении по элементу второго столбца. При выводе третьего столбца происходит сдвиг второго слоя влево на первый. В результате в первом столбце остаются только первые символы названий первого и последнего элементов соответствующего подмножества D_i . Этот сдвиг дает возможность увеличить ширину третьего столбца, что необходимо для ото-

Т а б л и ц а 1

Некоторые функции информационной поддержки различных этапов лечения, связанных с назначением медикаментов

Этап процесса лечения	Функции информационной поддержки	Персонал
Вход в режим назначения медикаментов	Сигнализация о выходе лабораторно-диагностических показателей за границы нормы	Врачи клинических отделений
	Вывод таблицы с диагнозами и антропометрическими данными	
Выбор препаратов для назначения	Схемы (стандартные протоколы) лечения с рекомендуемыми величинами параметров	
	Список возможных смесей препаратов с рекомендуемыми дозами	
	Рекомендации по применению медикаментов	
	Указания объемных показателей и наличия препаратов в больнице	
Формирование (заказ) назначений	Проверка ограничений на разовые, суточные и курсовые дозы и сигнализация о нарушениях	
	Проверка взаимодействий между выбранными для назначения и назначенными ранее препаратами и сигнализация о взаимодействиях	
	Расчет медикаментов по весу пациента	
Выполнение назначений	Сигнализация о новых назначениях и отменах	
	Формирование журналов назначений	
Контроль медикаментозного лечения	Сводная информация об использовании схем лечения по отделениям больницы	Управленческий персонал, клинические фармакологи
	Частотный анализ различных видов выявленных взаимодействий медикаментов	
	Персонифицированный учет расхода медикаментов	
Поддержание необходимого запаса медикаментов в больнице	Данные о реальном расходе медикаментов за произвольный период времени	Фармацевты
	Данные о наличии медикаментов на складе и в отделениях больницы	

бражения содержащихся в нем названий препаратов и их характеристик без перемещения горизонтальной полосы прокрутки.

Функции ППВР. Лечебный процесс, связанный с назначением пациентам медикаментов, с позиции системного подхода не ограничивается только работой лечащего врача. Он включает в себя планирование и заказ медикаментов фармацевтической службой больницы, выполнение назначений медицинскими сестрами, контроль назначений со стороны административного персонала и врачей – клинических фармакологов. На каждом из этих этапов информационная поддержка действий персонала больницы дает возможность уменьшения количества допускаемых ошибок. Но принципиально важным является именно этап назначения врачами медикаментов. Использование ДМИ позволяет в удобном режиме без лишних затрат времени выбирать требуемые для назначения пациентам медикаменты. После указания параметров выбранных препаратов происходит инициация функций информационной поддержки. Список таких функций, выполняемых системой на различных этапах процесса лечения, приведен в табл. 1.

В процессе эксплуатации системы в Чулымской центральной районной больнице сформированы количественные оценки влияния некоторых функций ППВР (см. табл. 1) на эффективность лечения и безопасность пациентов. Результаты приведены в табл. 2. Оценки получены путем формирования отчетов, специально предусмотренных в системе для административного персонала с целью анализа эффективности ее эксплуатации.

Каждый случай выбора врачом препарата, взаимодействующего с одним из уже выбранных или назначенных ранее, или указания дозы, превосходящей максимальную разовую или суточную, фиксируется в базе данных системы. Действие врача после предупреждения системы – корректировка такого назначения или его подтверждение – также фиксируется. В отчеты включаются столбцы с количеством корректировок, подтверждений и процентных отношений корректировок к суммарному числу таких действий (см. табл. 2, третий столбец). Назначение взаимодействующих между собой препаратов, как и превышение максимальных доз, может привести к снижению эффективности лечения и уровня безопасности пациентов.

Т а б л и ц а 2

Количественные оценки влияния некоторых функций ППВР при назначении медикаментов на эффективность лечения и безопасность пациентов

Функция ППВР	Вид и направление эффекта	Величина, %
Проверка взаимодействий между выбранными для назначения и назначенными ранее препаратами	Уменьшение частоты назначений пар взаимодействующих между собой препаратов	56,6
Проверка превышения максимальной разовой дозы	Уменьшение частоты назначений препаратов с разовой дозой, превосходящей максимальную разовую дозу	65,8
Проверка превышения максимальной суточной дозы	Уменьшение частоты назначений препаратов с суточной дозой, превосходящей максимальную суточную дозу	68,2

Закключение. Реализация в клинической интранет-системе динамического многослойного интерфейса дала возможность врачам выбирать медикаменты из списка, состоящего из сотен названий. Время, необходимое на их выбор для назначения пациенту, рассчитанное по модели GOMS, не превосходит времени, затрачиваемого опытным пользователем с применением клавиатуры, и примерно в 2,4 раза меньше времени, затрачиваемого пользователем, не имеющим больших навыков работы с клавиатурой. При этом, во-первых, врач может просматривать весь список препаратов на одном экране, во-вторых, нет необходимости переключения внимания с клавиатуры на мышь и обратно.

Назначение медикаментов в созданной интранет-системе позволило использовать функции поддержки принятия врачебных решений, работающие в реальном масштабе времени и предназначенные для всестороннего информирования медицинского персонала, обеспечивающего процесс лечения. Встроенные в систему функции информационной поддержки показали свою эффективность при эксплуатации в реальных условиях многопрофильной больницы.

Авторы благодарят И. В. Аюпову за участие в разработке системы и Б. П. Усова за предоставленные материалы по результатам использования клинической ИС «ДОКА+» в Чулымской центральной районной больнице.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глазатов М. В., Микшин А. Г., Пшеничников Д. Ю. и др. Значение информационных технологий в повышении безопасности пациентов и эффективности лечения // Врач и информационные технологии. 2004. № 1. С. 22.
2. Kohn L., Corrigan J., Donaldson M. To Err is Human: Building a Safer Health System. N. Y.: National Academy Press, 2000.
3. Шульман Е. И., Рот Г. З. Экономическая эффективность клинической информационной системы нового поколения // Врач и информационные технологии. 2004. № 7. С. 30.
4. Doolan D. F., Bates D. W. Computerized physician order entry systems in hospitals: mandates and incentives // Health Affairs. 2002. 21, N 4. P. 180.
5. Berger R. G., Kichak J. P. Computerized physician order entry: helpful or harmful? // Journ. American Medical Informatics Association. 2004. 11, N 2. P. 100.
6. Handler J. A., Feied C. F., Coonan K. et al. Computerized physician order entry and online decision support // Academic Emergency Medicine. 2004. 11, N 11. P. 1135.
7. Shu K., Boyle D., Spurr C. et al. Comparison of time spent writing orders on paper with computerized physician order entry // MEDINFO. 2001. 10. P. 1207.
8. Шульман Е. И., Глазатов М. В., Пшеничников Д. Ю. и др. Структурная модель клинической информационной системы // Информационные технологии. 2004. № 8. С. 35.
9. Шульман Е. И. Информационная поддержка лечебно-диагностических процессов: требования и интранет-реализация базовой системы // Вычислительные технологии. 2004. 9. Ч. 4. С. 351.
10. Раскин Д. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем. С.-Пб.: «Символ-Плюс», 2003.