УДК 616.31

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ВРАЧА

***Е. В. Садыкова,***
*канд. техн. наук, доцент*
*Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»*

*Представлен пример моделирования процесса прогноза заражения внутрибольничной инфекцией для системы поддержки принятия решений врача. Для построения модели предлагается подход, который позволяет объединить экспериментальные данные о количестве заболеваний внутрибольничной инфекцией с экспертной оценкой о закономерностях, извлекаемых из экспертных данных. Полученные закономерности формализуются при помощи нечеткой логики путем настраивания нечетких правил.*

***Ключевые слова*** *— системы поддержки принятия решений, информационные технологии, дифференциальный диагноз, модель прогноза заражения внутрибольничной инфекцией.*

## Введение

Задача синтеза систем поддержки принятия решений медицинских специалистов должна опираться, с одной стороны, на возможности современных информационных технологий, а с другой — на достаточно полное, глубокое знание успешного решения задач дифференциальной диагностики заболеваний человека [1].

Однако вопросы методологии, технологии исследования оценки функционального состояния здоровья и диагностики заболеваний человека остаются нерешенными. Современный уровень развития медицины, биологии, информационных технологий, техники требует решения подобных вопросов на качественно новом уровне.

Целью проводимых исследований является создание моделей, алгоритмов и программного обеспечения систем поддержки принятия решений врача (СППРВ) путем эффективного использования аналитических и физиологических методов дифференциальной диагностики различных заболеваний.

На стадии дифференциального диагноза решаются две задачи: отделение данного заболевания от других болезней и формирование диагностической гипотезы о нозологической форме и особенностях ее течения у данного больного. Абсолютной истины, как и абсолютно достоверного диагноза, не существует, поэтому в каждый данный момент необходима такая степень точности диагноза, которая должна настолько четко отражать заболевание и состояние больного, чтобы явиться основанием для эффективных практических врачебных действий [2]. Умение правильно оценивать клинический фон, на котором выделяются признаки болезни, постигается в результате учебного процесса либо методом «проб и ошибок». И хотя этому умению нельзя полностью научиться при помощи СППРВ, все же она даст врачу комплекс знаний по проблеме и наметит основные пути анализа фактов, выявленных им при исследовании больного.

## Технологии создания СППРВ

Системы поддержки принятия решений врача способны осуществлять интеллектуальный анализ медицинских данных с использованием математических методов машинного обучения, таких как статистические методы, нейронные сети, искусственный интеллект, генетические алгоритмы, деревья решений и т. д. Интеллектуальный анализ медицинских данных в таких системах позволяет получать диагностическую информацию о различных заболеваниях.

В состав системы поддержки принятия решений входят три главных компонента: база данных, база моделей и программная подсистема, которая состоит из систем управления базой данных, базой моделей и интерфейсом между пользователем и компьютером [3].

База данных играет в информационной технологии поддержки принятия решений важную роль. Данные могут использоваться непосредственно врачом для получения диагностической информации при помощи математических моделей.

Целью создания моделей являются описание и оптимизация некоторого объекта или процесса. Использование моделей обеспечивает проведение анализа в системах поддержки принятия решений. Модели, базируясь на математической интерпретации проблемы, при помощи определенных алгоритмов способствуют нахождению информации, полезной для принятия правильных решений.

Математические модели состоят из совокупности модельных блоков, модулей и процедур, реализующих математические методы. В данном случае часто используют процедуры линейного программирования, статистического анализа временных рядов, регрессионного анализа. Модельные блоки, модули и процедуры могут использоваться как поодиночке, так и комплексно для построения и поддержания моделей.

## Модель прогноза заражения внутрибольничной инфекцией для СППРВ бактериолога

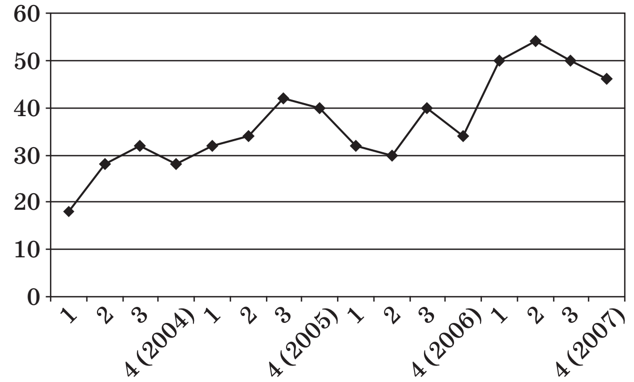
В статье представлен пример моделирования процесса прогноза заражения внутрибольничной инфекцией (ВБИ) для СППРВ. Для построения модели использованы экспериментальные данные о количестве заболеваний ВБИ стационаров. После экспертной оценки экспериментальных данных можно сделать вывод о закономерностях возникновения ВБИ. Полученные закономерности формализуются при помощи нечеткой логики путем настраивания нечетких правил ЕСЛИ–ТО с помощью существующих экспериментальных данных. Такая модель позволяет построить прогноз в условиях малых экспериментальных выборок, поэтому ее можно применить для прогноза заражения конкретной ВБИ стационара.

Анализируя динамику изменений числа заболеваний некоторых стационаров на протяжении 15 лет, можно заметить 4 цикла за 4 года, в каждом году 4 периода, приходящихся на максимум заболеваемости ВБИ (рис. 1).

На основании сделанных выводов о закономерностях распространения ВБИ в различных стационарах можно сказать, что заболевания ВБИ имеют циклический характер, максимумы ВБИ возникают через 3–4 месяца.

Пусть ... $x_4^{i-1}$) ($x_1^i$, $x_2^i$, $x_3^i$, $x_4^i$) ($x_1^{i+1}$... — циклы, где $i$ — номер цикла; $x_1^i$, $x_2^i$, $x_3^i$, $x_4^i$ — количество заболеваний ВБИ в 1–4 периодах года соответственно.

Сеть зависимостей, которая объединяет сформированные логические правила $G_i$ в $i$-м и ($i$ + + 1)-м циклах, показывает, что по двум первым периодам года $i$-го цикла можно прогнозировать




■ *Рис. 1.* Динамика изменений количества заболеваний пневмонией

на год вперед: на два последних периода года $i$-го цикла и на два первых периода года следующего ($i$ + 1)-го цикла.

Логические правила $G_i$, имеющие экспертные оценки «низкий» (Н), «ниже среднего» (НС), «средний» (С), «выше среднего» (ВС), «высокий» (В), согласно теории нечетких множеств формализуем при помощи функции принадлежности $\mu^{T}(x)$, которая лежит в диапазоне [0, 1] и имеет следующий вид: $\mu^{T}(x) = 1/(1 + ((x - b)/c)^2)$, где $b$ и $c$ — параметры настройки, которые вначале выбираются экспертом, а затем настраиваются на экспериментальные данные: $b$ — координата максимума функции, $\mu^{T}(b) = 1$; $c$ — коэффициент концентрации (растяжения функции).

Используя введенные в теории нечетких множеств логические операции min (И), max (ИЛИ) и принцип взвешенной суммы для преобразования функции принадлежности к четкому числу, получим модель прогноза пневмонии (ВБИ):

$G_1$:

$x_3^i = (x_2\mu^{C}(x_3^i) + x_3\mu^{BC}(x_3^i) + x_4\mu^{B}(x_3^i))/(\mu^{C}(x_3^i) +$
$+ \mu^{BC}(x_3^i) + \mu^{B}(x_3^i))$;

$\mu^{C}(x_3^i) = \min(\mu^{H}(x_1^i), \mu^{HC}(x_2^i))$;

$\mu^{BC}(x_3^i) = \min(\mu^{C}(x_1^i), \mu^{C}(x_2^i))$;

$\mu^{B}(x_3^i) = \min(\mu^{B}(x_1^i), \mu^{B}(x_2^i))$.

$G_2$:

$x_4^i = (x_1\mu^{HC}(x_4^i) + x_2\mu^{C}(x_4^i) + x_3\mu^{BC}(x_4^i))/(\mu^{HC}(x_4^i) +$
$+ \mu^{C}(x_4^i) + \mu^{BC}(x_4^i))$;

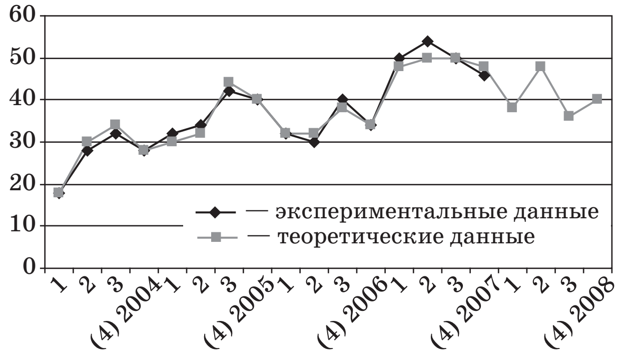
$\mu^{HC}(x_4^i) = \min(\mu^{H}(x_1^i), \mu^{HC}(x_2^i))$;

$\mu^{C}(x_4^i) = \min(\mu^{C}(x_1^i), \mu^{C}(x_2^i))$;

$\mu^{BC}(x_4^i) = \max(\min(\mu^{B}(x_1^i), \mu^{B}(x_2^i)); \min(\mu^{C}(x_1^i),$
$\mu^{C}(x_2^i)))$.

$G_3$:

$x_1^{i+1} = (x_2\mu^{C}(x_1^{i+1}) + x_4\mu^{B}(x_1^{i+1}))/(\mu^{C}(x_1^{i+1}) +$
$+ \mu^{B}(x_1^{i+1}))$;




■ *Рис. 2.* Сопоставление экспериментальных и теоретических данных после настройки


■ *Рис. 3.* Сопоставление результатов ошибки с теоретическими и экспериментальными данными числа заболеваний пневмонией (ВБИ)

$\mu^{C}(x_1^{i+1}) = \max(\mu^{HC}(x_4^i), \mu^{BC}(x_4^i));$

$\mu^{B}(x_1^{i+1}) = \mu^{C}(x_4^i).$

$G_4$:

$x_3^i = (x_1\mu^{HC}(x_2^{i+1}) + x_2\mu^{C}(x_2^{i+1}) +$

$+ x_4\mu^{B}(x_2^{i+1}))/(\mu^{HC}(x_2^{i+1}) + \mu^{C}(x_2^{i+1}) + \mu^{B}(x_2^{i+1}));$

$\mu^{HC}(x_2^{i+1}) = \min(\mu^{BC}(x_4^i), \mu^{C}(x_1^{i+1}));$

$\mu^{C}(x_2^{i+1}) = \min(\mu^{HC}(x_4^i), \mu^{C}(x_1^{i+1}));$

$\mu^{B}(x_2^{i+1}) = \min(\mu^{C}(x_4^i), \mu^{BC}(x_1^{i+1})).$

При помощи полученной модели можно грубо прогнозировать количество заболеваний. Для повышения точности прогноза необходимо перейти к настройке модели. Задача настройки состоит в подборе таких параметров $b$ и $c$ функций принадлежности методом наименьших квадратов, которые обеспечат минимум расхождения между теоретическим и экспериментальным количеством заболеваний (рис. 2).

Применение настроенных функций принадлежности позволяет получить теоретические данные, достаточно близкие к экспериментальным данным, и модель прогнозирования на 2013 г. Пример прогноза на 2008 г. (рис. 3) проверен на медицинских данных и имеет хорошие результаты.

На основании разработанной модели прогноза заражения общего числа ВБИ можно строить прогноз заражения общего количества ВБИ по стационару на год.

Эффективность и гибкость информационной технологии во многом зависят от характеристик интерфейса системы поддержки принятия решений. Интерфейс определяет язык пользователя; язык сообщений компьютера, организующий диалог на экране дисплея; знания пользователя.

## Заключение

Сформулированные рекомендации по созданию систем поддержки принятия решений медицинских специалистов позволяют предложить модели, диагностические алгоритмы, технологии прогнозирования состояния человека, повышающие эффективность лечебного процесса.

Главной особенностью информационной технологии поддержки принятия решений является качественно новый метод организации взаимодействия врача и компьютера. Выработка диагностического решения, что является основной целью этой технологии, происходит в результате взаимодействия системы поддержки принятия решений с врачом как лицом, принимающим решение, задающим входные данные и оценивающим полученный результат вычислений на компьютере. В этом случае можно говорить о способности информационной системы совместно с врачом создавать новую информацию для принятия решений.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России на 2009–2013 годы» (государственный контракт № П1081 от 31.05.2010).

## Литература


1. **Садыкова Е. В., Абувда Ахмед М. А.** Система поддержки принятия решения врача-бактериолога в микробиологической лаборатории // Изв. вузов. Радиоэлектроника. 2009. № 2. С. 63–68.
2. **Садыкова Е. В.** Автоматизированный анализ внутрибольничных инфекций // Биомедицинская радиоэлектроника. 2009. № 11. С. 57–62.
3. **Садыкова Е. В., Максимова О. В.** Математические и концептуальные модели заболеваний для системы поддержки принятия решений врача-клинициста // Биомедицинская радиоэлектроника. 2010. № 11. С. 39–43.

УДК 519.614

# ВЫЧИСЛЕНИЕ МАТРИЦ АДАМАРА — МЕРСЕННА

***Н. А. Балонин,***
*доктор техн. наук, профессор, старший научный сотрудник*
***М. Б. Сергеев,***
*доктор техн. наук, профессор, директор*
*НИИ информационно-управляющих систем Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики*
***Л. А. Мироновский,***
*доктор техн. наук, профессор*
*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения*

*Приведено определение обобщенных матриц Адамара, порядок которых равен числам Мерсенна. Рассмотрены свойства матриц Адамара — Мерсенна, описан алгоритм их построения, приведены числовые примеры.*

***Ключевые слова*** *— ортогональные матрицы, матрицы Адамара, матрицы Белевича, числа Мерсенна.*

## Введение

Матрицы Адамара нашли применение в практике построения помехоустойчивых и защитных кодов, в шифровании и маскировании. К сожалению, матрицы Адамара существуют не для всех порядков $n$, поэтому актуальной остается задача поиска ортогональных матриц, близких к ним по смыслу. Решению этой проблемы посвящены работы [1–5].

Элементы искомых матриц распадаются на некоторые группы (уровни) одинаковых по абсолютным величинам чисел [1, 2]. Наиболее экономно устроены матрицы Адамара, имеющие одноуровневую структуру — все их элементы равны {1, –1}.

Классический способ построения матриц Адамара порядков $n = 2^k$ основан на использовании итерационной формулы Сильвестра

$$\mathbf{S}_{2n} = \begin{pmatrix} \mathbf{S}_n & \mathbf{S}_n \\ \mathbf{S}_n & -\mathbf{S}_n \end{pmatrix}, \qquad (1)$$

где в качестве начального значения принято число $\mathbf{S}_1 = 1$.

Помимо простоты построения, матрицы Адамара отличает экстремальное свойство: максимальный по абсолютной величине элемент такой матрицы ($m$-норма) имеет наименьшее значение на множестве ортонормированных матриц того же порядка. Расширительное толкование матриц Адамара возможно при опоре на отмеченное минимаксное свойство [1, 2] при одновременном ослаблении жесткого ограничения на значения уровней, а именно, допуская для элементов М-матриц два значения $\pm a$ и $\pm b$. Далее без ограничения общности будем считать, что $|a| = 1$, $|b| < 1$.

Таким образом, задача сводится к отысканию матриц с минимальной $m$-нормой на множестве ортогональных двухуровневых матриц.

## Модифицированная формула Сильвестра

Цель данной работы состоит в описании последовательности двухуровневых ортогональных М-матриц, аналогичных последовательности Сильвестра (1), но построенной для чисел Мерсенна $n = 2^k - 1$, где $k$ — целое. Так как значения уровней элементов матриц изменились, модифицируем формулу удвоения порядка Сильвестра.

***Положение 1.*** Рассмотрим модифицированную формулу Сильвестра

$$\mathbf{S}_{2n} = \begin{pmatrix} \mathbf{M}_n & \mathbf{M}_n \\ \mathbf{M}_n & \mathbf{M}_n^* \end{pmatrix}, \qquad (2)$$

где матрица $\mathbf{M}_n^*$ образована перестановкой уровней $a = 1$ и $-b$. Полученная по этой формуле матрица $\mathbf{S}_{2n}$ симметрична, но ее порядок четен и на единицу меньше порядка следующей матрицы Мерсенна $\mathbf{M}_{2n+1}$. Для рекурсивного перехода от матрицы к матрице одного лишь удвоения порядка недостаточно, необходимо дополнительное окаймление матрицы $\mathbf{S}_{2n}$ (добавление строки и столбца).

■ В наши дни Марен Мерсенн известен более всего как исследователь «чисел Мерсенна», играющих важную роль в теории чисел, криптографии и генераторах псевдослучайных чисел. Однако Мерсенн — один из первых, кто оценил скорость звука. Он описал схему зеркального телескопа, позднее реализованную Ньютоном. Основываясь на его исследованиях, французский математик Жозеф Совёр объяснил феномен обертонов. Мерсенн также издал перевод на французский язык «Механики» Галилея (1634), редактировал издания Евклида, Архимеда и других античных классиков

## Алгоритм построения матриц Адамара — Мерсенна

Алгоритм основан на свойствах собственных чисел и собственных векторов блочных матриц.

***Положение 2.*** Сформируем матрицу $\mathbf{M}_{2n+1}$ путем следующего окаймления матрицы $\mathbf{S}_{2n}$ вида (2):

$$\mathbf{M}_{2n+1} = \begin{pmatrix} -\lambda & \mathbf{e}' \\ \mathbf{e} & \mathbf{S}_{2n} \end{pmatrix},$$

где $\lambda$, $\mathbf{e}$ — соответственно собственное число и собственный вектор матрицы $\mathbf{S}_{2n}$. Полученная таким образом матрица будет симметричной и ортогональной при старте итераций с начальной матрицы

$$\mathbf{M}_3 = \begin{pmatrix} a & -b & a \\ -b & a & a \\ a & a & -b \end{pmatrix}.$$

Собственное значение матрицы удвоенного порядка будет равно $\lambda = -a$. При этом половина компонент собственного вектора состоит из $-b$, остальная половина — из $a$. Происходит это при следующих значениях образующей пары: $b = a/2$ при $n = 3$, в остальных случаях $b = \dfrac{p \pm \sqrt{4p}}{p-4}a$, $p = n + 1$. Справедливость положения следует из условия ортогональности.

■ Уравнения и значения уровней М-матриц

| $k$ | Матрица | Уравнение | Уровни |
|---|---|---|---|
| 1 | $\mathbf{M}_1$ | $b = a$ | $b = a$ |
| 2 | $\mathbf{M}_3$ | $2b + a = 0$ | $b = a/2$ |
| 3 | $\mathbf{M}_7$ | $b^2 - 4ab + 2a^2 = 0$ | $b = (2 \pm \sqrt{2})a$ |
| 4 | $\mathbf{M}_{15}$ | $3b^2 - 8ab + 4a^2 = 0$ | $b = 2a/3$ и $b = 2a$ |
| 5 | $\mathbf{M}_{31}$ | $7b^2 - 16ab + 8a^2 = 0$ | $b = (8 \pm 2\sqrt{2})a/7$ |
| 6 | $\mathbf{M}_{63}$ | $15b^2 - 32ab + 16a^2 = 0$ | $b = 4a/5$, $b = 4a/3$ |
| 7 | $\mathbf{M}_{127}$ | $31b^2 - 64ab + 32a^2 = 0$ | $b = (32 \pm 4\sqrt{2})a/31$ |
| 8 | $\mathbf{M}_{255}$ | $63b^2 - 128ab + 64a^2 = 0$ | $b = 8a/9$ и $b = 8a/7$ |

Указанные значения элементов матриц являются корнями некоторых алгебраических уравнений, называемых далее характеристическими. Примеры характеристических уравнений для уровней, отвечающих условию ортогональности столбцов матрицы Адамара — Мерсенна, приведены в таблице.

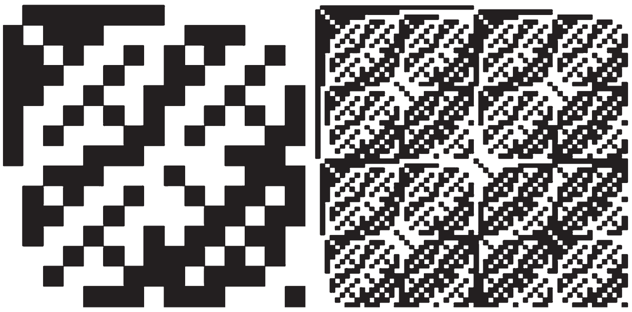
В случае построения из матриц Якобсталя матриц Белевича [5] собственному значению $\lambda = 0$ соответствует собственный вектор $\mathbf{e}$, состоящий из 1. Строительный блок матрицы Адамара — Мерсенна отличается от них только тем, что $\lambda = -a$, а собственный вектор содержит элементы $-b$ и $a$. Единственная сложность состоит в том, что с ростом порядка эти параметры не остаются постоянными, но их модули сближаются. Иными словами, значения элементов матриц Адамара — Мерсенна стремятся к $\{1, -1\}$, т. е. в пределе они точно такие же, как и матрицы Адамара.

**Пример 1.** Одна итерация модифицированного алгоритма Сильвестра дает

$$\mathbf{M}_3 = \begin{pmatrix} a & -b & a \\ -b & a & a \\ a & a & -b \end{pmatrix};$$

$$\mathbf{S}_6 = \begin{pmatrix} a & -b & a & a & -b & a \\ -b & a & a & -b & a & a \\ a & a & -b & a & a & -b \\ a & -b & a & -b & a & -b \\ -b & a & a & a & -b & -b \\ a & a & -b & -b & -b & a \end{pmatrix}.$$

Уровни матрицы Адамара — Мерсенна $\mathbf{M}_7$: $a = 1$, $b = \dfrac{p - \sqrt{4p}}{p-4} \cong 0.5858$ при $p = 8$. Среди собствен-



■ Примеры матриц Адамара — Мерсенна $\mathbf{M}_{15}$, $\mathbf{M}_{63}$ (белое поле — элемент матрицы со значением $a = 1$, черное поле — элемент со значением $-b$)

ных чисел {–1, –2.2426, –2.2426, 2.2426, 2.2426, 2.2426} выберем $\lambda = -1$, отвечающее уровню $a = 1$ этой матрицы. Соответствующий собственный вектор $\mathbf{e} = (-b, -b, -b, a, a, a) \cong (-0.5858, -0.5858, -0.5858, 1, 1, 1)$. Добавляя кайму, получаем

$$\mathbf{M}_7 = \begin{pmatrix} a & -b & -b & -b & a & a & a \\ -b & a & -b & a & a & -b & a \\ -b & -b & a & a & -b & a & a \\ -b & a & a & -b & a & a & -b \\ a & a & -b & a & -b & a & -b \\ a & -b & a & a & a & -b & -b \\ a & a & a & -b & -b & -b & a \end{pmatrix}.$$

Портреты матриц более высоких порядков представлены на рисунке.

**Пример 2.** Симметричная матрица Адамара восьмого порядка

$$\mathbf{A} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 1 & -1 \end{pmatrix}.$$

Среди собственных чисел {–1, –2.8284, –2.8284, –2.8284, 2.8284, 2.8284, 2.8284} матрицы седьмого порядка, полученной отбрасыванием первой строки и первого столбца, выберем $\lambda = -1$, отвечающее уровню $a = 1$ этой матрицы. Соответствующий собственный вектор имеет вид $\mathbf{e} = (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1)$.

**Пример 3.** Симметричная матрица Белевича [5] шестого порядка имеет вид

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & 1 & 0 & 1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 0 \end{pmatrix}.$$

Среди собственных чисел {0, –2.2361, –2.2361, 2.2361, 2.2361} матрицы пятого порядка, полученной отбрасыванием первой строки и первого столбца, выберем $\lambda = 0$, отвечающее нулевому диагональному элементу этой матрицы. Соответствующий собственный вектор имеет вид $\mathbf{e} = (1, 1, 1, 1, 1)$.

## Заключение

В процессе поиска матриц нечетных порядков, близких к матрицам Адамара, удалось выделить класс двухуровневых матриц, названных матрицами Адамара — Мерсенна. Размер этих матриц равен числам Мерсенна $2^k - 1$, а их элементы с ростом значений целочисленного аргумента $k$ стремятся к значениям {1, –1}, как и у матриц Адамара. В области четных порядков пропуски среди матриц Белевича [5] также восполняются М-матрицами с большим количеством уровней [3]. Практическое применение М-матриц целесообразно в задачах повышения степени помехоустойчивости и защищенности при передаче информации.

## Литература

1. **Балонин Н. А., Сергеев М. Б.** М-матрицы // Информационно-управляющие системы. 2011. № 1. С. 14–21.
2. **Балонин Н. А., Мироновский Л. А.** Матрицы Адамара нечетного порядка // Информационно-управляющие системы. 2006. № 3. С. 46–50.
3. **Балонин Ю. Н., Сергеев М. Б.** М-матрица 22-го порядка // Информационно-управляющие системы. 2011. № 5. С. 87–90.
4. **Шинтяков Д. В.** Алгоритм поиска матриц Адамара нечетного порядка // Сб. докл. Девятой научной сессии ГУАП: Ч. II. Технич. науки / ГУАП. СПб., 2006. С. 207–211.
5. **Belevitch V.** Theorem of 2n-terminal networks with application to conference telephony // Electr. Commun. 1950. Vol. 26. P. 231–244.