

УДК 61:002; 311:614; 519:22

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛГЕБРАИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КОНСТРУКТИВНОЙ ЛОГИКИ В АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В МЕДИЦИНЕ И ЗДРАВООХРАНЕНИИ

В.А. ХРОМУШИН, А.А. ХАДАРЦЕВ, К.Ю. КИТАНИНА

Тульский государственный университет

Аннотация. В кратком аналитическом обзоре дано обоснование и изложен многолетний опыт авторов по применению алгебраической модели конструктивной логики в медицине и здравоохранении. Приведены варианты программного обеспечения, методические материалы, различные способы анализа и особенности алгоритма построения нелинейной математической модели. Рассматриваемая алгебраическая модель конструктивной логики позволяет выполнять многофакторный анализ, проста в использовании, не требует обучения и принципиально отличается от известных нейросетевых алгоритмов. Это позволяет подтверждать результат аналитических исследований принципиально разными методами. В статье кратко изложены особенности различных алгоритмов построения алгебраической модели конструктивной логики, используемые на практике в России. Приведены различные способы анализа с примерами их использования, а также основная литература по алгебраической модели конструктивной логики.

В настоящее время использование алгебраической модели конструктивной логики ограничено Россией. Дальнейшее развитие алгебраической модели конструктивной логики как метода многофакторного анализа, по мнению авторов, требует международного сотрудничества с возможностью использования в смежных отраслях знаний.

Ключевые слова: анализ, логика, математическая модель, методология анализа, методы анализа.

**EXPERIENCE IN USING AN ALGEBRAIC MODEL OF
CONSTRUCTIVE LOGIC IN ANALYTICAL RESEARCHES
IN MEDICINE AND HEALTH**

V.A. KHROMUSHIN, A.A. KHADARTSEV, K.YU. KITANINA

Tula State University

Abstract. In a brief analytical review, the rationale and the many years of experience of the authors on the application of the algebraic model of constructive logic in medicine and healthcare are described. The software options, teaching materials, various methods of analysis and features of the algorithm for constructing a nonlinear mathematical model are given. The considered algebraic model of constructive logic allows for multivariate analysis, is easy to use, does not require training and is fundamentally different from the known neural network algorithms. This allows you to confirm the result of analytical studies with fundamentally different methods. The article summarizes the features of various algorithms for constructing an algebraic model of constructive logic that are used in practice in Russia. Various methods of analysis are presented with examples of their use, as well as basic literature on the algebraic model of constructive logic.

Currently, the use of the algebraic model of constructive logic is limited to Russia. The further development of the algebraic model of constructive logic as a method of multivariate analysis, according to the authors, requires international cooperation with the possibility of using in related fields of knowledge.

Keywords: analysis, logic, mathematical model, analysis methodology, analysis methods.

Введение. Алгоритм *алгебраической модели конструктивной логики* (АМКЛ) был создан в России в 1983 году для многофакторного анализа в различных отраслях науки [1]. С философской точки зрения АМКЛ обеспечивает отыскание в хаосе закономерностей. В наибольшей степени АМКЛ нашла применение в медицине и здравоохранении. За прошедшие годы:

- алгоритм многократно совершенствовался;
- были созданы три варианта программного обеспечения;
- разработана методология и тактика многофакторного анализа;

— созданы различные методы анализа для задач медицины и здравоохранения;

— выполнено множество аналитических исследований и диссертационных работ.

Алгоритм АМКЛ позволяет строить нелинейную математическую модель, которая представляет собой:

— результирующие составляющие с указанием пределов значений (объединенные через знак конъюнкции с другими факторами, в случае их совместного воздействия) и с указанной результирующей мощностью (W);

— каждая результирующая составляющая объединена с другими результирующими составляющими через знак дизъюнкции, и в таком виде они образуют тупиковую дизъюнктивную форму (в виде, не допускающем ее дальнейшее упрощение).

Алгоритм АМКЛ отдаленно напоминает синтез цифровых автоматов с нахождением тупиковой дизъюнктивной формы, что используется разработчиками для построения оптимальных цифровых устройств [2]. Если в проектировании цифровых устройств факторы (переменные) принимают только два значения 0 или 1, то в АМКЛ они могут быть любыми (в том числе дробными числами). Учитывая данное обстоятельство, авторы используют ряд терминов математического аппарата синтеза цифровых автоматов.

Алгоритм ценен прежде всего тем, что он принципиально отличается от других методов многофакторного анализа, в том числе от нейросетевого алгоритма. АМКЛ не требует предварительного обучения, прост в применении и, как показали сравнительные аналитические исследования, мало чем отличаются от результатов полученных с использованием нейросетевых алгоритмов.

Самым важным, на взгляд авторов, является принципиальное отличие АМКЛ от других методов многофакторного анализа. Мы исходим из того, что результат анализа, подтвержденный принципиально разными методами, является наилучшим. Такой подход используется в обработке информации в создании сложного и высоконадежного вооружения.

Перечень основных публикаций по АМКЛ доступен со страницы <http://www.medtsu.tula.ru/mt/amcl/pub.html>. Сама программа (универсальный вариант) доступна для скачивания со страницы

<http://www.medtsu.tula.ru/mt/amcl/AMCL.zip> (вместе с тестовым массивом). Наиболее полно АМКЛ изложена в монографии [3].

Ниже показан сравнительно простой пример построения математической модели, выполненной с помощью третьего варианта программы (оптимизированного для задач здравоохранения, где значения факторов представлены только категориями) [4]:

Y — Цель (1 — годы 2014–2018, 0 — годы 2009–2013).

X1 — Квартал (1, 2, 3, 4).

X2 — Пол (1 — мужской, 2 — женский).

X3 — Класс МКБ-X (1 — II, 2 — IV, 3 — IX, 4 — X, 5 — XI, 6 — XX).

X4 — Когорта с максимальным числом случаев:

1 — 55...59,

2 — 60...64,

3 — 65...69,

4 — 70...74,

5 — 75...79,

6 — 80...84,

7 — 85...89.

Примечание: при одинаковом числе случаев предпочтение отдавалось младшей когорте.

По исходным данным регионального регистра смертности была построена математическая модель [4]:

Значение цели:	1
Всего случаев:	480
Целевых случаев:	240

Отобрано целевых случаев: 91 при $p=0,05$.

$W = 19 (2 \leq X4 \leq 3)$

$W = 17 (3 \leq X1 \leq 4) \& (2 \leq X4 \leq 3)$

$W = 16 (2 \leq X1 \leq 4) \& (2 \leq X4 \leq 3)$

$W = 11 (4 \leq X1 \leq 4) \& (3 \leq X3 \leq 6) \& (2 \leq X4 \leq 3)$

$W = 7 (2 \leq X2 \leq 2) \& (5 \leq X3 \leq 6) \& (3 \leq X4 \leq 7)$
 $W = 5 (4 \leq X1 \leq 4) \& (2 \leq X2 \leq 2) \& (5 \leq X3 \leq 6) \& (2 \leq X4 \leq 3)$
 $W = 4 (3 \leq X1 \leq 4) \& (2 \leq X2 \leq 2) \& (5 \leq X3 \leq 6) \& (3 \leq X4 \leq 3)$
 $W = 2 (4 \leq X1 \leq 4) \& (2 \leq X2 \leq 2) \& (6 \leq X3 \leq 6) \& (3 \leq X4 \leq 3)$
 $W = 2 (4 \leq X1 \leq 4) \& (2 \leq X2 \leq 2) \& (4 \leq X3 \leq 4) \& (7 \leq X4 \leq 7)$
 $W = 2 (4 \leq X1 \leq 4) \& (2 \leq X2 \leq 2) \& (1 \leq X3 \leq 1) \& (3 \leq X4 \leq 3)$
 $W = 2 (3 \leq X1 \leq 3) \& (2 \leq X2 \leq 2) \& (4 \leq X3 \leq 4) \& (5 \leq X4 \leq 5)$
 $W = 1 (4 \leq X1 \leq 4) \& (2 \leq X2 \leq 2) \& (3 \leq X3 \leq 3) \& (5 \leq X4 \leq 5)$
 $W = 1 (2 \leq X1 \leq 2) \& (2 \leq X2 \leq 2) \& (6 \leq X3 \leq 6) \& (5 \leq X4 \leq 5)$
 $W = 1 (2 \leq X1 \leq 2) \& (2 \leq X2 \leq 2) \& (6 \leq X3 \leq 6) \& (3 \leq X4 \leq 3)$
 $W = 1 (2 \leq X1 \leq 2) \& (1 \leq X2 \leq 1) \& (2 \leq X3 \leq 2) \& (5 \leq X4 \leq 5)$

Полученная математическая модель позволяет выявить многофакторные отличия в смертности населения за последние пять лет в сравнении с предыдущей пятилеткой [4].

Целью настоящей работы является оценка возможностей АМКЛ в многофакторном анализе в медицине и здравоохранении.

Результаты разработки. Полагая, что большинству читателей не знаком алгоритм АМКЛ, приведем ссылку на сравнительный анализ АМКЛ с синтезом комбинационного цифрового устройства [2]. В этой публикации показана идентичность результата синтеза, выполненного с помощью диаграммы Вейча (часто используемого в таких случаях) и с помощью АМКЛ. Это, с одной стороны, убеждает нас в работоспособности АМКЛ, а с другой стороны — позволяет нам считать синтез цифрового автомата со значениями переменных 0 или 1 частным случаем АМКЛ, где переменные могут быть представлены любыми действительными числами. Форма представления результата в этих случаях различна, что не является принципиальным.

В основе различных алгоритмов АМКЛ лежит основополагающая идея объединения («склеивания») случаев, которые отличаются соседним значением только в одном анализируемом факторе. Это влечет необходимость указания пределов определения факторов. Различные алгоритмы по-разному выполняют последовательное «склеивание» близких случаев.

Суть совершенствования алгоритмов АМКЛ заключается в построении математической модели с наименьшим числом результирующих составляющих, а при их равенстве — с наименьшим числом

факторов (с меньшей сочетанностью). Как и в синтезе цифровых автоматов, покрытие целевого пространства может осуществляться разными способами. В силу этого в АМКЛ появляется аналогичная возможность. Однако, как показала многолетняя практика, это касается маломощных результирующих составляющих, которые исследователь обычно не учитывает. Чаще всего из модели выбирают самые мощные результирующие составляющие. Для этого разработана программа выделения главных результирующих составляющих, в которых реализованы два способа [5–7]:

- по точке перегиба графика мощностей математической модели [5];
- по точке встречи накопленных значений мощностей сверху вниз и снизу вверх [6].

Необходимо отметить важное обстоятельство: при построении АМКЛ возможно понижение факторного пространства [8].

В настоящее время программная реализация алгоритма АМКЛ представлена тремя вариантами:

1. Универсальный вариант АМКЛ в двух вариантах сканирования при «склеивании» точечных составляющих (сверху вниз и снизу вверх) для исключения избыточных покрытий целевых строк [8, 9].
2. Модернизированный вариант АМКЛ (с примером аналитического исследования по анализу дорожно-транспортных происшествий [10].
3. Адаптированный под задачи здравоохранения вариант АМКЛ [4].

Указанные варианты отличаются прежде всего степенью компактностью и точностью. Универсальный вариант позволяет получить более компактную модель, но менее точную при недостаточном числе анализируемых случаев. Второй и третий варианты в разной степени позволяют получить более точный результат, но менее компактный. Это позволяет выбирать программу в зависимости от качества исходной информации.

В процессе использования АМКЛ в аналитических исследованиях были разработаны различные методические материалы и методы анализа:

1. Методология многофакторного исследования здоровья населения с использованием АМКЛ [11, 12]. Изложены аспекты правильного выбора средств и методов анализа. Рассмотрены вопросы накопления данных для аналитических исследований и их верификация, предварительный анализ, выбор цели исследования, оценка размерности массива данных,

оптимизация данных. Приведены примеры аналитических исследований. Предложен модернизированный вариант АМКЛ [11, 12].

2. Тактика применения АМКЛ [13]. В рекомендациях приведены возможные исходы действий по уменьшению числа факторов, по формированию компактной математической модели и оценке числа целевых и нецелевых случаев [13].

3. Способ выявления ограничений анализируемого метода лечения с помощью АМКЛ [14].

4. Построение экспертных систем на базе АМКЛ [15–18]. Предложены два алгоритма подсчета максимальной мощности (принимаемой за 100 %), которыми обеспечивается необходимая точность экспертной системы [15, 17, 18]. Приведен пример реализации экспертной системы на примере гестозов [16].

5. Интерпретация результирующих составляющих АМКЛ, включая маломощные [19].

6. Способ сравнительного многофакторного анализа, позволяющего снизить трудоемкость накопления исходных данных для анализа [20]. Предложенный способ предусматривает двухэтапный процесс накопления данных со сравнением массивов до лечения и после лечения с использованием мер сходств с оценкой по большинству достоверных различий и построение на конечном этапе математической модели [20].

7. Многофакторный статистический анализ с использованием АМКЛ на примере преднамеренных самоповреждений [21]. Метод предусматривает использование в качестве целевого значения результат обобщенной оценки показателей здравоохранения по трем возрастным когортам [21].

8. Многофакторный статистический анализ с использованием АМКЛ на примере болезней органов пищеварения [22]. Предложен в качестве целевого значения результат обобщенной оценки показателей здравоохранения по шести рубрикам болезней органов пищеварения [22].

9. Многофакторный статистический анализ с использованием АМКЛ на примере транспортных несчастных случаев [23]. Предлагаемый метод предусматривает использование в качестве целевого значения результат обобщенной оценки показателей здравоохранения по возрастным когортам [23].

10. Анализ кардиогемодинамики с использованием АМКЛ [24, 25].
 11. Подготовка данных для многофакторного анализа с использованием АМКЛ [26]. Даны рекомендации по оптимальному выбору числа анализируемых факторов, верификации данных, наличию необходимого числа записей для полноценного анализа, выбору варианта программного обеспечения построения АМКЛ [26].
 12. Целевая направленность многофакторного анализа с использованием АМКЛ [27]. Предложенный способ предназначен для случаев, когда целевое значение в явном виде задать не удастся. Он основан на подсчете числа случаев каждого значения каждого фактора и их доли в общем числе случаев. Произведение долевых значений каждого задействованного фактора, сравненное с задаваемым пороговым значением, определяет значение, соответствующее достижению цели [27].
- Вывод.** Алгоритм и программное обеспечение АМКЛ, разработанные методы анализа, методические материалы, примеры аналитических исследований и многолетний опыт позволяют рекомендовать АМКЛ для углубленных аналитических исследований в медицине и здравоохранении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щеглов В.Н. Алгебраические модели конструктивной логики для управления и оптимизации химико-технологических систем. Автореферат кандидата технических наук. — Ленинград: Технологический институт им. Ленсовета, 1983. — 20 с.
2. Хромушин В.А. Сравнительный анализ алгебраической модели конструктивной логики // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. — 2013. — № 1. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_21055601_74504525.pdf
3. Хромушин В.А., Китанина К.Ю., Хромушин О.В. Алгебраическая модель конструктивной логики: монография. — Тула: Изд-во ТулГУ, 2017. — 245 с. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/mng/17m12.pdf>
4. Хромушин В.А., Китанина К.Ю., Ластовецкий А.Г. Моделирование многофакторных отличий в анализе смертности с использованием специализированной версии алгебраической модели конструктивной логики // Вестник новых медицинских технологий. — 2019. — Т. 26. — № 3. —

- С. 107–111. DOI: 10.24411/1609–2163–2019–16507. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_40594315_16075112.pdf
5. Хромушин О.В. Способ выделения главных результирующих составляющих в алгебраической модели конструктивной логики // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. — 2012. — № 1. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_18296375_78969094.pdf
 6. Хромушин В.А., Махалкина В.В. Обобщенная оценка результирующей алгебраической модели конструктивной логики // Вестник новых медицинских технологий. — 2009. — Т. XVI. — № 3. — С. 39–40
 7. Хромушин В.А., Хромушин О.В. Программа для выделения главных результирующих составляющих в алгебраической модели конструктивной логики // Вестник новых медицинских технологий. — 2014. — № 1. DOI:10.12737/5612. URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2014–1/4899.pdf>.
 8. Хромушин В.А., Бучель В.Ф., Хадарцев А.А., Китанина К.Ю. Программа алгебраической модели конструктивной логики. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RUS 2018613348 04.12.2017. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35320007>
 9. Хромушин В.А., Бучель В.Ф., Дзасохов А.С., Хромушин О.В. Оптимизация алгебраической модели конструктивной логики // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. — 2014. — № 1. URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_22988075_40277993.pdf
 10. Лебедев М.В., Аверьянова Д.А., Хромушин В.А., Ластовечкий А.Г. Травматизм в дорожно-транспортных происшествиях: аналитические исследования с использованием алгебраической модели конструктивной логики: учебное пособие. — М.: РИО ЦНИИОИЗ, 2014. — 120 с.
 11. Китанина К.Ю. Методология многофакторного исследования здоровья населения с использованием алгебраической модели конструктивной логики // Вестник новых медицинских технологий. 2016. — № 3. — С. 14–22.
 12. Китанина К.Ю., Хромушин В.А. Разработка методологии многофакторного анализа медицинских данных на основе алгоритма

- алгебраической модели конструктивной логики // Отчет о научно-исследовательской работе. — Тула: ТулГУ, 2017. — 284 с.
13. Хромушин В.А., Китанина К.Ю., Ластовецкий А.Г., Аверьянова Д.А. Тактика применения алгебраической модели конструктивной логики в медицине и биологии // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. — 2016. — № 3. Публикация 1–5. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2016-3/1-5.pdf> (дата обращения: 24.08.2016). DOI:10.12737/21275.
 14. Дзасохов А.С., Китанина К.Ю., Хромушин В.А., Пацукова Д.В. Способ выявления ограничений анализируемого метода лечения с помощью алгебраической модели конструктивной логики на примере гипербарической оксигенации при онкогинекологической патологии // Вестник новых медицинских технологий. — 2015. — Т. 22. — № 3. — С. 79–86. DOI:10.12737/13305.
 15. Китанина К.Ю., Хромушин В.А., Дзасохов А.С., Хромушин О.В. Особенности построения экспертной системы на основе алгебраической модели конструктивной логики // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. — 2015. — № 3. URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2015-3/5209.pdf>. DOI:10.12737/13073.
 16. Хромушин В.А., Паньшина М.В., Даильнев В.И., Китанина К.Ю., Хромушин О.В. Построение экспертной системы на основе алгебраической модели конструктивной логики на примере гестозов // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. — 2013. — № 1. URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2013-1/4171.pdf>
 17. Хромушин В.А., Махалкина В.В. Использование алгебраической модели конструктивной логики при построении экспертных систем // Вестник новых медицинских технологий. — 2009. — Т. XVI. — № 3. — С. 40–41
 18. Махалкина В.В. Обработка слабоструктурированной информации при построении базы знаний экспертной системы микроэлементных нарушений у человека. Автореферат кандидата биологических наук. Тула: ТулГУ, 2009. 23 с.
 19. Хромушин В.А., Китанина К.Ю., Ластовецкий А.Г., Хромушин О.В. Вопросы интерпретации результирующих составляю-

- щих алгебраической модели конструктивной логики // Прикладные информационные аспекты медицины. — 2017. — № 4. — С. 237–245.
20. Раннева Л.К., Хадарцева К.А., Китанина К.Ю., Хромушин В.А. Способ сравнительного многофакторного анализа в медицине с использованием алгебраической модели конструктивной логики // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. — 2016. — № 2. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2016-2/1-4.pdf>
21. Хромушин В.А., Китанина К.Ю., Ластовецкий А.Г. Многофакторный статистический анализ смертности населения России от преднамеренных самоповреждений // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. — 2018. — № 5. DOI: 10.24411/2075-4094-2018-16211. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2018-5/2-3.pdf>
22. Китанина К.Ю., Хромушин В.А., Наумова Э.М., Федоров С.Ю. Многофакторный статистический анализ с использованием алгебраической модели конструктивной логики на примере болезней органов пищеварения // Вестник новых медицинских технологий. — 2018. — № 3. — С. 227–236.
23. Хромушин В.А., Ластовецкий А.Г., Китанина К.Ю., Айвазян А.Г. Многофакторный статистический анализ на примере транспортных несчастных случаев // Менеджер здравоохранения. — 2018. — № 4. — С. 39–46.
24. Минина Е.Н. Оптимизация скрининг-оценки кардиогемодинамики с использованием алгебраической модели конструктивной логики: монография. М.: Русайс, 2017. — 144 с.
25. Минина Е.Н. Оценка изменения функционального состояния кардиогемодинамики при аромавоздействии с использованием алгебраической модели конструктивной логики // Вестник физиотерапии и курортологии. — 2017. — Т. 23. — № 4. — С. 122–118.
26. Китанина К.Ю., Хадарцев А.А., Хромушин О.В., Ластовецкий А.Г. Подготовка данных для многофакторного анализа в медицине и биологии с помощью алгебраической модели конструктивной логики // Вестник новых медицинских технологий.