

Перспективы развития медицинской науки и алгоритмическая клиническая медицина

В.Д. Паронджанов

ФГУП Научно-производственный центр автоматизации и приборостроения
им. академика Н.А. Пилюгина, г. Москва

Анализ работ по качеству медицинской помощи и безопасности пациентов позволил обнаружить и исследовать проблему, связанную с дефектами медицинского языка и клиническими алгоритмами. Предпринимаемые сегодня меры по безопасности пациентов являются недостаточными, поскольку они не учитывают ошибки мышления врачей, вызванные процедурной и логической слабостью медицинского языка. Причиной многих врачебных ошибок является чрезмерная сложность клинического мышления, порождаемая ограниченными возможностями медицинского языка, несовершенством или отсутствием качественных клинических алгоритмов. Стремясь повысить безопасность пациентов, эффективность медицинского образования и качество медицинской литературы, автор предлагает реформировать клиническую медицину и преобразовать ее в алгоритмическую клиническую медицину, для чего необходимо:

- разработать удобный для врачей эргономичный медицинский алгоритмический язык высокой точности;
- принять его в качестве медицинского стандарта для предотвращения врачебных ошибок и качественного изображения клинических алгоритмов;
- принять данный язык для представления клинических алгоритмов в медицинской литературе: в учебниках, руководствах, клинических рекомендациях, протоколах диагностики и лечения;
- изменить методику преподавания медицинских дисциплин в медицинских учебных заведениях и системе непрерывного образования, опираясь на эргономичные клинические алгоритмы высокой точности.

Эргономичный медицинский алгоритмический язык высокой точности, облегчающий труд врачей, разработан автором и успешно используется на практике группой литовских клиницистов и преподавателей. Научное обоснование, разработка теории эргономичных клинических алгоритмов и проект создания алгоритмической клинической медицины представлены в монографии автора и выносятся на обсуждение.

СОДЕРЖАНИЕ

Фундаментальная проблема медицины	3
Алгоритмическая клиническая медицина.....	3
Десять целей алгоритмической клинической медицины.....	3
Проблема безопасности, совершенствования и алгоритмизации медицинского языка.....	4
Сложность медицинского мышления и алгоритмизация медицины	4
Инновационные клинические алгоритмы, облегчающие мышление врачей.....	5
Трудности при использовании понятия «алгоритм». Теория клинических алгоритмов	5
Трудности и ошибки при использовании понятия «клинический алгоритм»	5
Различия в трактовке понятия «алгоритм» в информатике и клинической медицине.....	6
Теория эргономичных клинических алгоритмов высокой точности.....	7
Алгоритм Гиппократов, проекция Меркатора и метод невидимой математики	8
Картографический принцип клинических алгоритмов.....	9
Логика клинических алгоритмов	11
Линейная и визуальная логика.....	11
Визуальная логика клинических алгоритмов.....	12
Эргономичный медицинский алгоритмический язык высокой точности ДРАКОН	13
Применение языка ДРАКОН в медицине.....	14
Пример клинического алгоритма на языке ДРАКОН	15
Формализация клинического алгоритма с помощью конструкции «силуэт».....	15
Алгоритм «Реанимация беременной женщины».....	15
Ошибки в клинических алгоритмах, угрожающие безопасности пациентов	18
Поток управления клинических алгоритмов.....	19
Безопасный поток управления клинических алгоритмов.....	20
Уточнение понятия «эргономичный алгоритм».....	20
Визуальное логическое исчисление и программа дракон-конструктор ...	20
Программа дракон-конструктор и доказательство правильности.....	21
Высокая скорость разработки и сертификации клинических алгоритмов	21

Будущее алгоритмической клинической медицины.....	22
В медицине необходимы концептуальные изменения.....	22
Проблема диагностических алгоритмов.....	22
Отзывы литовских врачей о языке ДРАКОН.....	23
Заключение ФУМО Минздрава РФ «Клиническая медицина» о языке ДРАКОН.....	24
Подготовка учебного пособия и преподавателей по алгоритмической клинической медицине.....	25
Заключение.....	26
Список литературы.....	26

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ПРОБЛЕМА МЕДИЦИНЫ

Анализ работ [1–6 и др.] по качеству медицинской помощи и безопасности пациентов (Patient Quality & Safety) позволил обнаружить и исследовать ранее не выявленную фундаментальную проблему, связанную с медицинским языком и клиническими алгоритмами. Предпринимаемые сегодня меры по безопасности пациентов являются недостаточными, поскольку они не учитывают ошибки мышления врачей, вызванные процедурной и логической слабостью профессионального медицинского языка. Медицинский язык не формализован, не обеспечивает необходимую точность при решении сложных вопросов, вносит значительные трудности в мышление врачей и нуждается в доработке и совершенствовании. Причина многих врачебных ошибок, приносящих вред пациентам — чрезмерная сложность клинического мышления, вызванная ограниченными возможностями медицинского языка, несовершенством или отсутствием качественных клинических алгоритмов, а также сопряженных с ними недостатками медицинской литературы и медицинского образования.

Алгоритмическая клиническая медицина. Чтобы устранить слабое звено, необходимо реформировать клиническую медицину и преобразовать ее в *алгоритмическую* клиническую медицину. Научное обоснование, детальная проработка, экспериментальное подтверждение и возможность крупномасштабной реализации этого проекта представлены в монографии [7].

Ключевым элементом реформы служит медицинский алгоритмический язык, являющийся **эргономичным** (обладающим повышенными удобствами для врачей) и имеющий **высокую точность** (помогающий врачу избежать ошибок при выполнении клинического алгоритма).

Десять целей алгоритмической клинической медицины. Алгоритмизация — это перевод медицины на алгоритмический путь развития, преследующий 10 целей:

1. сократить число врачебных ошибок в лечебно-профилактических учреждениях для повышения безопасности пациентов, повысить качество здравоохранения и показатели здоровья населения;
2. создать эргономичный медицинский алгоритмический язык высокой точности, удобный и комфортный для врачей, облегчающий их работу, исключающий умственное перенапряжение, стимулирующий безошибочную работу;
3. принять данный язык в качестве медицинского стандарта для предотвращения врачебных ошибок и качественного изображения клинических алгоритмов;
4. включить указанный язык в систему медицинского образования наравне с латинским языком;
5. рекомендовать данный язык для представления клинических алгоритмов в медицинской литературе: в учебниках, руководствах, клинических рекомендациях, протоколах диагностики и лечения, журнальных публикациях;
6. создать периодически обновляемую электронную базу данных сертифицированных эргономичных клинических алгоритмов высокой точности СЭКАВТ (в перспективе — для всех нозологических форм, предусмотренных в международной классификации болезней МКБ11);
7. устранить чрезмерную сложность клинического мышления, облегчить умственный труд врачей, создать благоприятные условия для мышления клиницистов, в частности, за счет мгновенного доступа к эргономичным алгоритмам, размещенным в электронной базе данных СЭКАВТ;
8. изменить методику преподавания медицинских дисциплин в медицинских учебных заведениях и системе непрерывного образования, опираясь на эргономичные клинические алгоритмы высокой точности;
9. обеспечить высокую скорость разработки и сертификации эргономичных клинических алгоритмов высокой точности;

10.подготовить учебные пособия и преподавателей по дисциплине «алгоритмическая клиническая медицина».

Проблема безопасности, совершенствования и алгоритмизации медицинского языка. Профессиональный язык и мышление тесно связаны: «без мышления не может быть языка, и мышление без языка невозможно» [8]. Между тем профессиональный медицинский язык имеет серьезный недостаток. Он не гарантирует защиту от врачебных ошибок, а наоборот, вносит неоправданные трудности в мышление врачей и провоцирует появление ошибок. В связи с этим, медицинский язык представляет серьезную опасность для пациентов.

К сожалению, проблема «медицинский язык как источник ошибок» полностью выпала из поля зрения ученых. Она не рассматривается как фундаментальная проблема медицины, считается несущественной, недооценивается и не изучена в должной мере. Она отсутствует в программе безопасности пациентов Национальной академии медицины США.

Философ Людвиг Витгенштейн как-то сказал: «Философия – это борьба против очарованности ума языком» [9]. Ум врачей очарован неточным и неясным медицинским языком. Они не замечают, что язык устарел и тормозит развитие медицины. Этой «очарованности ума» надо положить конец.

Современная медицина добилась замечательных успехов. Однако в одном отношении она по-прежнему отстает от многих других дисциплин. Ахиллесовой пятой медицины является ее неточный, неясный и устаревший язык. Имеется в виду процедурная (императивная) и логическая часть языка. Старомодный, неформальный язык порождает старомодное, неформальное мышление. Повышение точности и модернизация медицинского языка являются актуальной задачей.

По мнению специалистов по философии языка:

«язык не только служит нам верой и правдой, но и невольно на разные лады морочит нас... В языке таится множество самых неожиданных ловушек, то и дело вводящих нас в замешательство, сбивающих с толку, мешающих ясному, незамутненному пониманию» [10].

С особой остротой подобные дефекты языка мешают ясному и безошибочному пониманию сложных медицинских проблем, технологий и методов лечения.

Профессиональный медицинский язык не должен провоцировать врачебные ошибки, он обязан быть безопасным для пациентов, а для этого нужны специальные средства. Ключевым средством является алгоритмизация, т.е. расширение выразительных возможностей медицинского языка с помощью эргономичного алгоритмического языка высокой точности. В работе [7] автор попытался исследовать проблему безопасности, совершенствования и алгоритмизации медицинского языка и показать, что она является фундаментальной проблемой медицины, открывающей новый фронт исследований и требующей неотложного решения.

СЛОЖНОСТЬ МЕДИЦИНСКОГО МЫШЛЕНИЯ И АЛГОРИТМИЗАЦИЯ МЕДИЦИНЫ

На первый план выступает проблема сложности медицинского мышления. Известно, что медицина очень сложна и с каждым годом продолжает усложняться. Бурное развитие медицинских знаний и технологий предъявляет все новые требования к квалификации медперсонала и медицинскому образованию.

Как следствие, увеличивается нагрузка на мозг врачей, вынуждая их решать все более сложные мыслительные задачи. В том числе, чрезмерно сложные. При этом нередко забывают, что врач живой человек, а его психофизиологические характеристики и способности отнюдь не безграничны.

Чрезмерная сложность мышления врачей вызывает обоснованную тревогу, так как она является одной из причин медицинских ошибок с тяжелыми последствиями [11, с. 19].

Мысль о сложности мышления врачей не нова. Об этом предупреждал еще Гиппократ в своей Клятве, принимая которую, врач обязуется лечить «сообразно с моими силами и моим разумением» [12]. Получается, что интеллектуальная перегрузка врачей («сверх моих сил и за пределами моего разума») неразумна, опасна и недопустима.

Чрезмерная сложность мышления клиницистов неприемлема по той причине, что она порождает медицинские ошибки, влекущие за собой смерть, стойкую инвалидность или иной ущерб для пациентов.

Проблема сложности медицинского мышления обычно решается экстенсивно, путем увеличения числа медицинских профессий, специальностей и направлений подготовки. Но возможности экстенсивного подхода ограничены. В 2008 году в России в здравоохранении работали 3,7 миллиона человек; врачей всех специальностей 704 тысячи, среднего медперсонала – полтора миллиона человек [13], что создает немалую нагрузку на бюджет страны.

Инновационные клинические алгоритмы, облегчающие мышление врачей.

Целесообразно использовать *интенсивный* подход, т.е. повысить производительность умственного труда врачей, создав благоприятные условия для их мышления с помощью инновационного комплекта эргономичных клинических алгоритмов высокой точности. Это позволит устранить или уменьшить умственную перегрузку медперсонала, превратить непосильную для врачей интеллектуальную работу (порождающую врачебные ошибки) в посильную и, по возможности, безошибочную. Алгоритмизация клинической медицины призвана помочь медикам, облегчить их жизнь и устранить чрезмерную сложность мышления.

Это принципиально новая научная постановка вопроса. Задача состоит в том, чтобы упростить слишком сложную лечебно-диагностическую задачу, превратить ее в легко обозримую, которая не вызывает затруднений у врача. Впервые ставится задача создать эргономичный медицинский алгоритмический язык высокой точности, в максимальной степени отвечающий потребностям врачей и облегчающий их труд:

- опытные врачи, преподаватели и ученые используют данный язык как авторы-разработчики, эксперты и рецензенты, создающие и сертифицирующие эргономичные клинические алгоритмы высокой точности;
- остальные врачи и студенты-медики используют язык как подготовленные читатели при изучении инновационных клинических алгоритмов. Это позволяет приобретать знания быстрее (за меньшее время), легче (с меньшими усилиями) и добиваться более глубокого усвоения материала.

ТРУДНОСТИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ПОНЯТИЯ «АЛГОРИТМ». ТЕОРИЯ КЛИНИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Трудности и ошибки при использовании понятия «клинический алгоритм».

В медицине, как и в других науках, существуют определенные установки, образовавшиеся в ходе длительного исторического развития: стереотипы медицинского мышления, профессиональные идеалы и нормы. Понятие алгоритма вступает в противоречие с историческими традициями и неформальным стилем медицинского мышления. Некоторые врачи настороженно и скептически относятся к алгоритмам; на их знамени написано: «Медицина относится к разряду наук неточных, железных алгоритмов в ней нет и быть не может» [14].

Большинство клинических алгоритмов представлено в мировой медицинской литературе в виде текста на естественном языке. Это недопустимо, потому что последний не пригоден для записи *безошибочных* алгоритмов. Применение профессионального медицинского языка для записи алгоритмов является некорректным (безграмотным) и подлежит исправлению.

Часть алгоритмов изображается графически, но и они обычно страдают неполнотой и имеют многочисленные нарушения алгоритмических и эргономических правил. Например, в авторитетном руководстве по хирургии [15] показаны сокращенные графические алгоритмы (деревья решений), которые нельзя назвать алгоритмами, так как многие важные действия врачей (шаги алгоритма) пропущены, не упомянуты и не описаны.

Клинические алгоритмы, опубликованные в мировой медицинской литературе, как правило, не удовлетворяют требованию высокой точности. Они описывают лишь часть действий и решений врачей, а остальные опускают, что создает питательную среду для врачебных ошибок и негативно влияет на общественное здоровье.

Клинические алгоритмы, изображенные графически в виде блок-схем алгоритмов согласно стандартам ISO 5807:85 и ГОСТ 19.701-90, также являются неудовлетворительными, поскольку они не упорядочены, не эргономичны и не защищены от ошибок. При большой степени детализации блок-схемы становятся запутанными и неудобными для использования из-за существенно возрастающей громоздкости и быстрой потери наглядности.

В целом, можно сделать неутешительный вывод. Налицо серьезные системные дефекты в ныне существующей практике описания клинических алгоритмов. Для медицинской литературы и системы медицинского образования характерны низкое качество клинических алгоритмов, что имеет далеко идущие последствия и неблагоприятно отражается на показателях здоровья населения. Доктор мед. наук, профессор, член-корреспондент РАН Г.В. Порядин отмечает:

«Алгоритмическая неряшливость и некомпетентность, невозможность обеспечить необходимую точность, неумение выявить при диагностике все точки разветвления алгоритма, низкая культура производства медицинских алгоритмов, систематическое нарушение правил алгоритмизации... – все это мешает делу. Подобные промахи, которые постоянно встречаются в медицинских учебниках, руководствах, клинических рекомендациях и протоколах, представляют собой болевую проблему современной медицины и имеют значимые негативные последствия. Корень всех этих недочетов состоит в том, что в мире до сих пор отсутствует единый стандарт медицинских алгоритмов» [11].

Следует отметить, что специалисты по медицинской информатике предпочитают строгую нотацию, например, Арден-синтаксис (Arden Syntax), который используется в медицинском стандарте HL7 (Health Level 7) [16]. Однако данная нотация предназначена не для врачей, а для медицинских программистов. Для практикующих врачей, занятых в больницах, поликлиниках и медицинских центрах, Арден-синтаксис и иные подобные нотации (при всех своих достоинствах) абсолютно непригодны.

Различия в трактовке понятия «алгоритм» в информатике и клинической медицине. В информатике (computer science) *алгоритм* — формальное понятие, заданное вычислительными моделями Тьюринга, Поста, Маркова, Колмогорова, RAM и др., образующее научный фундамент автоматической обработки данных на компьютерах. Хотя алгоритм может выполняться и вручную (например, при сложении «столбиком» и делении «уголком»), но двигателем прогресса является автоматическое исполнение алгоритмов.

В клинической медицине алгоритм (клинический алгоритм) есть пошаговое описание действий врачей при решении лечебно-диагностических задач и вопросов

врачебной практики. Автоматика здесь тоже применяется (например, автоматический дефибриллятор при реанимации), но ведущую роль в клинических алгоритмах безусловно играет врач, а отнюдь не автоматические устройства (хот роль последних медленно, но неуклонно возрастает).

Можно показать, что клинический алгоритм — фундаментальное понятие медицины, он является способом фиксации и передачи знаний, добытых медицинской наукой [7, с. 64, 289]. Вместе с тем у него есть недостаток, своего рода, «первородный грех»: клинический алгоритм, увы... не является алгоритмом.

В самом деле, с точки зрения информатики, *клинический алгоритм* — это не алгоритм, а всего лишь алгоритмическое предписание. Последнее «имеет внешнюю форму алгоритма, но содержит не до конца определенные шаги» [17].

Клинический алгоритм внешне похож на алгоритм, но сходство обманчиво, ибо есть принципиальный дефект: шаги клинического алгоритма могут быть не полностью определены или даже опущены. Поэтому клинический алгоритм не пригоден для исполнения на компьютере, он выполняется человеком (врачом).

Алгоритм содержит в себе все указания, необходимые для его выполнения. Клинический алгоритм, напротив, содержит лишь часть указаний; недостающие сведения обязаны восполнить врачи, выполняющие алгоритм, опираясь на свои профессиональные знания.

Чем же отличается клинический алгоритм от настоящего алгоритма? Отличия имеют фундаментальный характер.

Недостаток клинического алгоритма — отсутствие свойства определенности (детерминированности), которое является обязательным для алгоритмов. На практике это часто приводит к отсутствию необходимой точности, приблизительности, пропуску и потере важных подробностей и условий. Все это вносит неоправданные трудности в мышление врачей и служит одной из причин врачебных ошибок.

Для решения проблемы неопределенности вводится понятие «клинический алгоритм высокой точности». Цель состоит в том, чтобы кардинально повысить качество клинических алгоритмов, уменьшить неопределенность, облегчить процесс мышления клиницистов, снизить вероятность врачебных ошибок и, в конечном итоге, обеспечить безопасность пациентов. Повысить качество клинических алгоритмов — значит (по возможности) приблизить их свойства к идеалу — то есть к свойствам алгоритмов.

Теория эргономичных клинических алгоритмов высокой точности. Может ли классическая теория алгоритмов, включая теорию вычислимости и теорию сложности вычислений решить проблему качества клинических алгоритмов, и уменьшить чрезмерную сложность мышления клиницистов? Нет, не может. Теория алгоритмов ограничивается формальными алгоритмами; она не имеет средств для описания сложных клинических алгоритмов, которые были бы удобны для практикующих врачей и облегчали их труд. Это означает, что классическая теория алгоритмов не способна уменьшить чрезмерную сложность мышления клиницистов.

Эту задачу решает *теория эргономичных клинических алгоритмов высокой точности* [7] [18]. Она служит теоретической основой для построения эргономичного медицинского алгоритмического языка высокой точности, который призван значительно **облегчить** работу врачей при профилактике, диагностике, лечении, экстренной помощи, реанимации, реабилитации, прогнозе. Медицинский алгоритмический язык должен обеспечить **удобство и комфорт** при выполнении умственных действий, избавить клиницистов от чрезмерной сложности мышления.

Элементами теории клинических алгоритмов являются: метод невидимой математики, картографический принцип, визуальная логика, безопасный поток управления, исчисление икон, частичное доказательство правильности и программа дракон-конструктор.

АЛГОРИТМ ГИППОКРАТА, ПРОЕКЦИЯ МЕРКАТОРА И МЕТОД НЕВИДИМОЙ МАТЕМАТИКИ

Чтобы создавать клинические алгоритмы высокой точности, нужна математизация клинической медицины. Однако математизация не должна вызывать трудности у врачей; наоборот, она должна **облегчать** труд клиницистов. Поэтому вводится *запрет* на использование *математических обозначений и формул*. Для этого служит метод эргономичной, или невидимой математики (эргоматематики) [18, с. 405-446]. Невидимая математика — принципиально новый научный метод, суть которого — объединение усилий когнитивной эргономики и математики. Метод описан в работах [7] [19]; ниже приводятся примеры, поясняющие суть дела.

Рассмотрим алгоритм Гиппократа, посвященный женским болезням:

Алгоритм Гиппократа

«Если же месячные совершенно уничтожены вследствие какой-нибудь болезни или если они густы, вязки, клейки, сначала нужно очистить желудок верхом и низом, потом очистить матку при помощи pessaria, извлекающего кровь; затем дают промежуток, после чего прописывают слабительное, действующее на кровь; пусть больная пьет также кретмон в вине, настоянном на ветках сосны» [12, с. 624].

При записи клинических алгоритмов следует прислушаться к советам филологов:

«Сложные, громоздкие предложения с большим числом внутренних связей затрудняют понимание текста, вынуждая непроизводительно тратить время на его анализ и уяснение смысла. Поэтому сложные предложения, как правило, целесообразно расчленивать на ряд простых, сохраняя логические взаимоотношения между ними» [20].

Эргоматематика позволяет легко выполнить это требование и радикально улучшить алгоритм Гиппократа, как показано на рис. 1.

Сложное и громоздкое предложение Гиппократа длиной 50 слов превратилось в изящный набор, состоящий из шести коротких фраз длиной от 4 до 8 слов. Благодаря эргономике длина предложений уменьшилась более чем в шесть раз, причем каждая фраза размещена в отдельной иконе.

Внутренние связи алгоритма Гиппократа, о которых обоснованно беспокоятся филологи, превратились во внешние связи между иконами. Тем самым невидимые связи обрели плоть и кровь — стали видимыми. Они преобразились в графические линии между геометрическими фигурами.

Сплошной линейный текст алгоритма Гиппократа превратился в текст пространственный. Предложения разместились в разных местах пространства, причем точки размещения выбраны на основании правил когнитивной эргономики, что облегчает восприятие.

В верхней части рисунка 1 две иконы Вопрос имеют выходы вправо через «Да». Точка объединения выходов выполняет логическую функцию дизъюнкции, причем дизъюнкция стала невидимой, так как знак дизъюнкции отсутствует. Получилась дизъюнкция без знака дизъюнкции — это и есть пример невидимой математики.

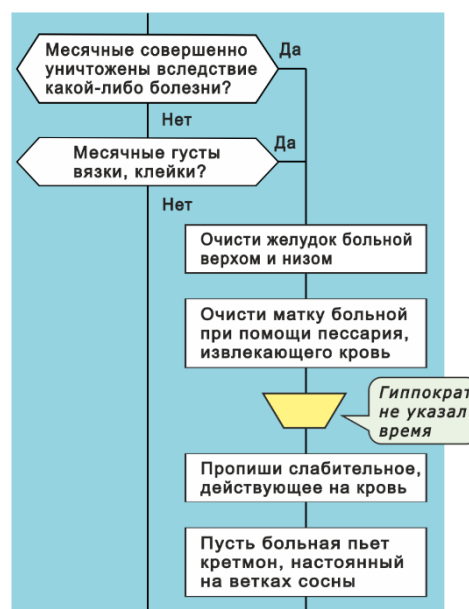


Рис. 1. Клинический алгоритм Гиппократа

Графика позволила выявить ошибку Гиппократ; асклепиад не указал время (длительность промежутка между действиями), ограничившись туманной фразой «затем дают промежуток». Оплотность древнего грека породила неопределенность алгоритма. Рис. 1 делает ошибку *явной*; он дисциплинирует мысль и настоятельно напоминает: трапецию нельзя оставлять пустой — в ней следует записать значение времени.

Картографический принцип клинических алгоритмов. Герард Меркатор ввел строгий порядок в картографию и наполнил точным смыслом движение взора по декартовым осям. Учитывая проекцию Меркатора и развитие картографии как науки, можно сформулировать *картографический принцип* изображения клинических алгоритмов высокой точности. Он гласит: **перемещение взора по оси абсцисс и ординат должно иметь заранее заданный смысл.**

На рис. 1 смещение взора вправо означает «чем правее, тем хуже». Действительно, левая вертикаль описывает более благоприятное состояние пациентки, а правая — менее благоприятное. Движение взора вниз означает, что время течет вниз: нижние действия выполняются позже, чем верхние [7, с. 190-198].

Алгоритмы на рис. 2 и 3 упорядочены в соответствии с картографическим принципом. На рис. 2 наихудший выход идет через «Нет», на рис. 3 — через «Да». Если кто-то по ошибке нарушит принцип, дефект легко можно исправить с помощью математической операции «рокировка» [19, с. 83-92].

Негативные да-нетные вопросы — те, что при ответе «Да», указывают на неблагоприятную ситуацию или нежелательное положение дел. Например, «Есть прогрессирующая сердечная недостаточность?» Если «Да», это плохо для пациента. Если «Нет» — хорошо.

Позитивные вопросы — те, что при ответе «Да» указывают на благоприятное положение дел. «В норме ли аускультуемый сердечный ритм плода?» Если «Да» — это хорошо для роженицы и плода, если «Нет» — плохо.



Рис. 2. Стандартная схема ИЛИ с тремя позитивными вопросами. Главный выход (через «Да») *слева*

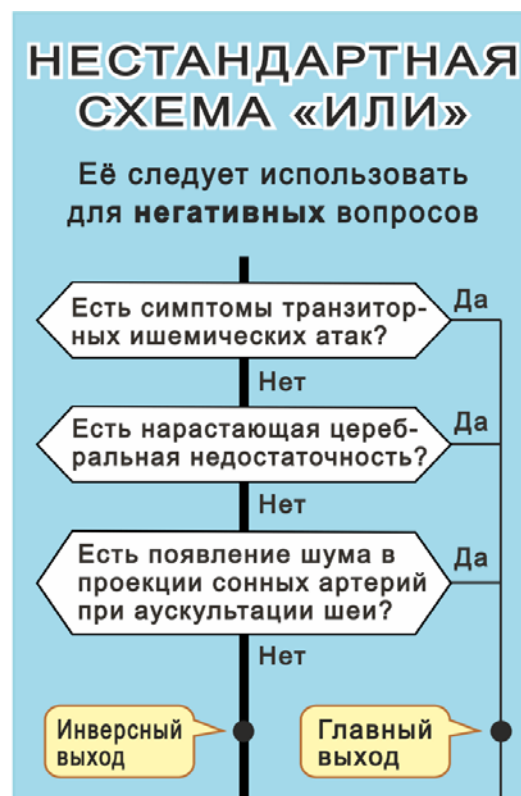


Рис. 3. Нестандартная схема ИЛИ с тремя негативными вопросами. Главный выход (через «Да») *справа*

На рис. 2 и 3, чтобы выполнить картографический принцип «чем правее, тем хуже», пришлось дизъюнкцию изобразить двумя разными способами. Оба способа эквивалентны; стандартная и нестандартная схемы преобразуются друг в друга с помощью рокировки.

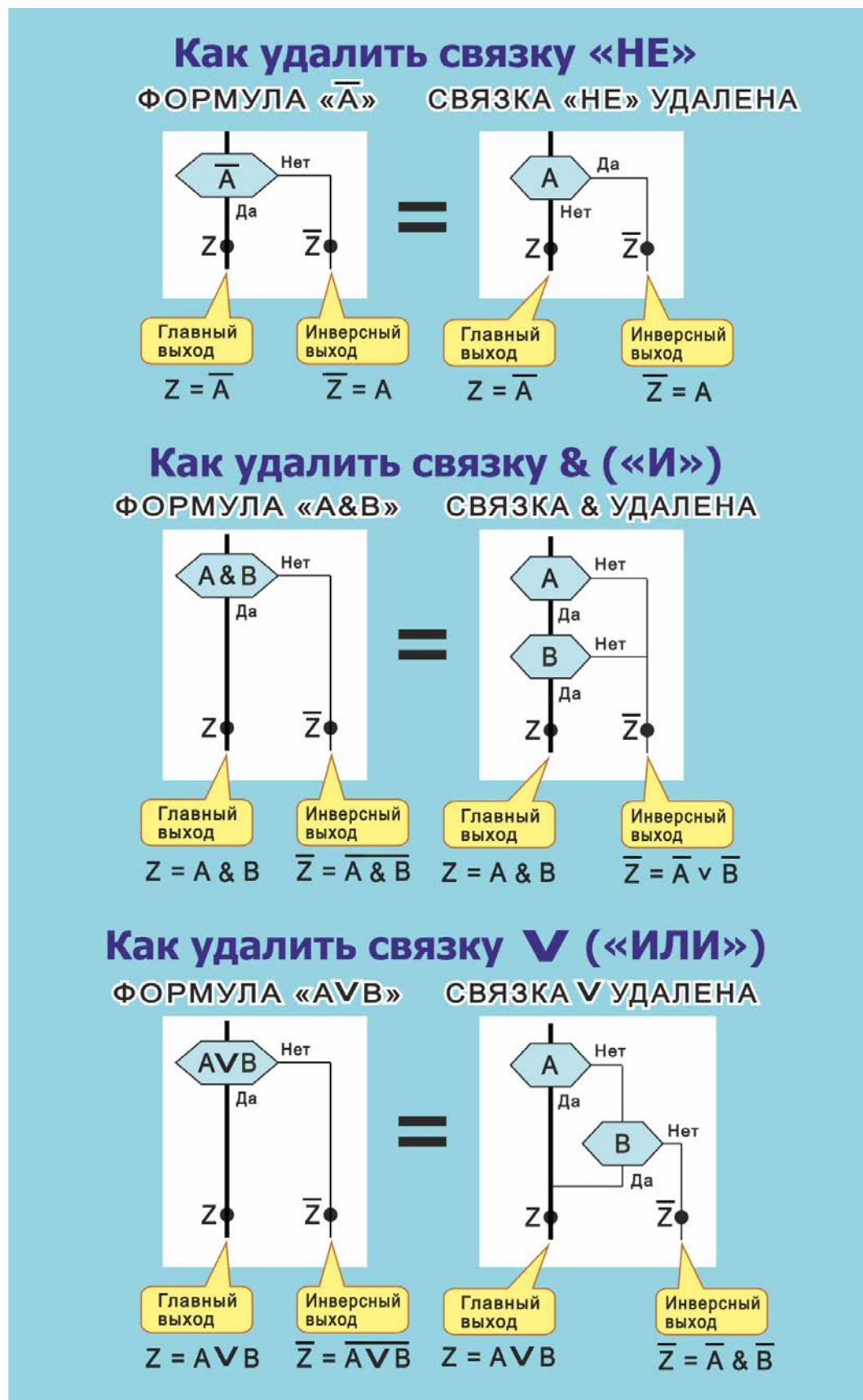


Рис. 4. Удаление пропозициональных связок с целью предотвращения ошибок

ЛОГИКА КЛИНИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Линейная и визуальная логика. В клинических алгоритмах может встречаться сложная логика, которая является источником врачебных ошибок. Логические ошибки очень опасны; их делают не только врачи при лечении больных, но и программисты в своих программах. Трудность в том, что пропозициональные связки в пропозициональных формулах и сложные булевы выражения зачастую провоцируют появление ошибок. О такой опасности давно предупреждают специалисты:

«Если это возможно, избегайте отрицаний в булевых выражениях. Представляется, что их понимание представляет трудность для многих программистов... Избегайте без нужды использования сложных булевых выражений... Даже если нет неоднозначностей, такие выражения обычно с трудом понимают все, за исключением их автора» [21]. «Распространенным источником ошибок является использование логических операций И и ИЛИ» [22].

Крайне важно облегчить труд врачей, помочь им избавиться от логических ошибок в клинических алгоритмах. Следует **заменить линейную логику на визуальную**, что позволит отказаться от сложных булевых выражений и удалить их. Применяя логическую декомпозицию, можно легко разбить логические формулы на элементарные части и удалить пропозициональные связки, как показано на рис. 4.

Алгебра логики называется *линейной* (одномерной), если используется последовательная запись символов и *визуальной*, если используется пространственная (двумерная) запись, как на рис. 1, 2, 3.

Недостаток линейной логики состоит в следующем. *Линейная* пропозициональная формула Z не показывает свою инверсию $\bar{Z}$. В отличие от нее, *визуальная* пропозициональная формула Z показывает оба инверсных выхода (рис. 2, 3):

- главный выход Z
- инверсный выход $\bar{Z}$.

Дизъюнкция трех пропозициональных переменных A, B, C на рис. 5 имеет 4 маршрута. Для каждого из них можно построить формулу маршрута в виде конъюнкта. Первый маршрут идет по шампуру (жирная вертикаль) и имеет формулу A . Второй идет правее с формулой $\bar{A} \& B$. Третий идет еще правее и имеет конъюнкт $\bar{A} \& \bar{B} \& C$. Наконец, четвертый (крайний справа) получает формулу $\bar{A} \& \bar{B} \& \bar{C}$. Внизу на рис. 5 видны линейные взаимно инверсные формулы для главного и инверсного выходов.

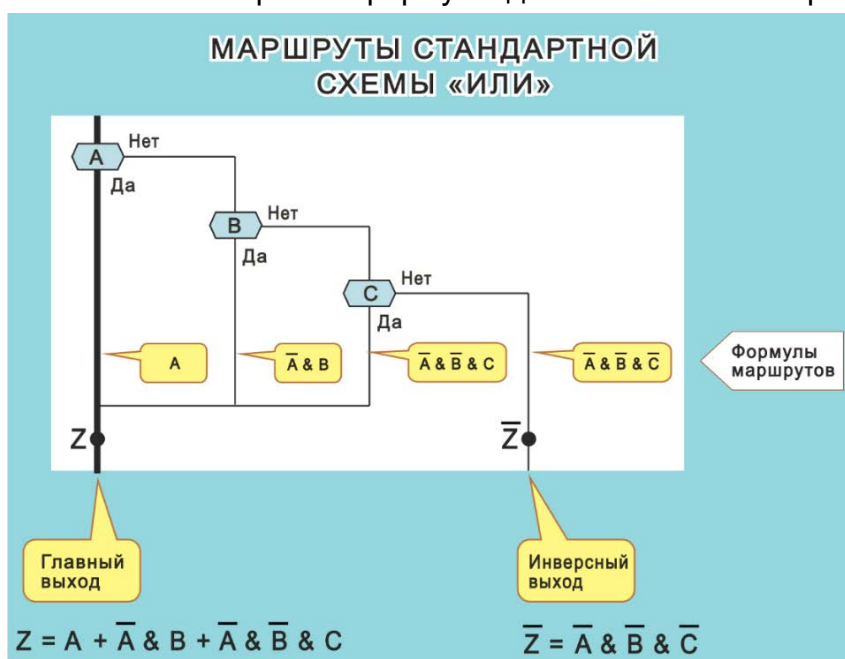


Рис. 5. На схеме дизъюнкции показаны 4 формулы маршрутов (в 4-х выносах)

На рис. 6 в трех белых квадратах показаны три примера визуальной дизъюнкции для главного выхода Z . Все три главных выхода порождают три равных линейных формулы $Z = A \vee B$. Три инверсных выхода $\bar{Z}$ также создают три равных формулы $\bar{Z} = \overline{A \vee B} = \bar{A} \& \bar{B}$. Сравнивая последние, получаем закон Августа де Моргана (рис. 6). Построив аналогичный рисунок для визуальной конъюнкции, получим второй закон де Моргана [7, с. 143].

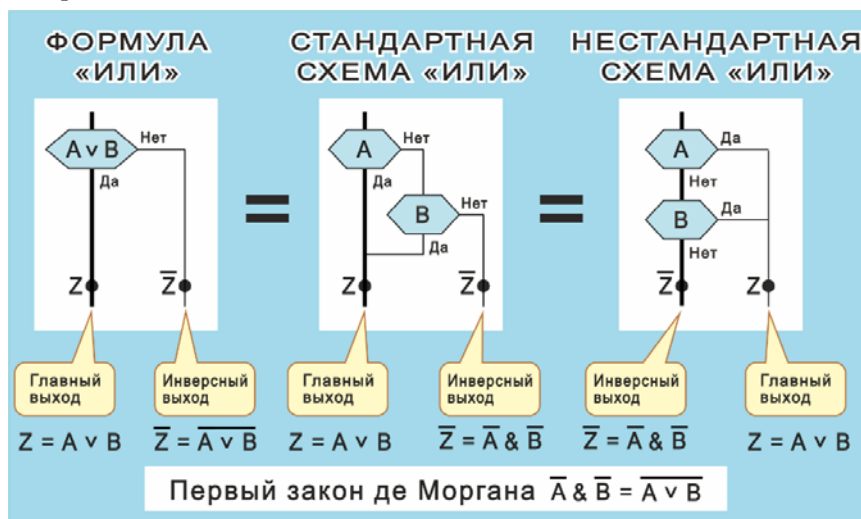


Рис. 6. В трех белых квадратах показаны три визуальных пропозициональных формулы. Все три визуальных формулы равны между собой.

Можно ли при диагностике применять линейную алгебру логики? Можно, но крайне нежелательно, ибо придется использовать абстрагирование. Последнее подразумевает отказ от привычной для медиков содержательной медицинской терминологии (которую прекрасно понимают врачи) и замену ее на абстрактные (т.е. бессмысленные) пропозициональные переменные, которые многим даются с трудом. Такой подход чреват врачебными ошибками, что подвергает риску безопасность пациентов.

Визуальная логика клинических алгоритмов. Чтобы исключить ошибки, нужно отказаться от линейной алгебры логики и операции абстрагирования. Вместо этого следует предоставить медикам удобную возможность выполнять сложные логические операции на привычном для врачей языке. Такую возможность дает «невидимая» визуальная алгебра логики, пример которой приведен на рис. 7, где логические операции спрятаны в чертеже и стали невидимыми. На этом рисунке показан фрагмент алгоритма реанимации беременной женщины.

Если у беременной женщины есть и пульс, и дыхание (из обеих икон Вопрос выходим вниз через «Да»), это наиболее благоприятная для пациентки ситуация. Ее описывает жирная вертикаль (шампур).

Если же пульса нет (из верхней иконы Вопрос выходим вправо через «Нет»), получим самую неблагоприятную ситуацию (клиническую смерть). Ей соответствует крайняя правая вертикаль.

Наконец, если пульс есть, а дыхания нет (из верхней иконы Вопрос выходим через «Да», из нижней через «Нет») — это промежуточная ситуация, которую описывает средняя вертикаль.

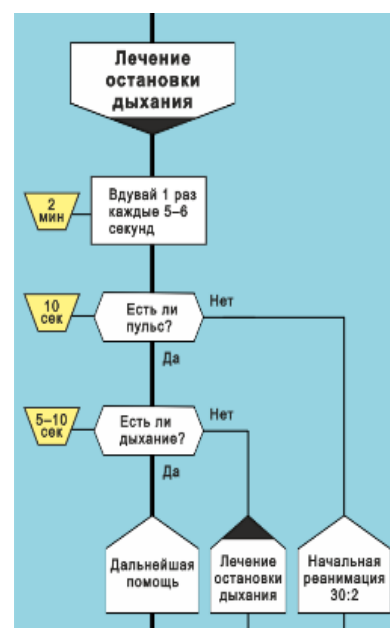


Рис. 7. Выполняется конъюнкция без знака конъюнкции и отрицание без знака инверсии

Алгоритм на рис. 7 имеет три маршрута, причем каждый идет по своей вертикали; маршруты строго упорядочены согласно картографическому принципу «чем правее, тем хуже».

Чтобы выявить достоинства визуальной логики, приведем классическое линейное описание для рис. 7. Вместо содержательных названий введем пропозициональные переменные, обозначив через A — Есть ли пульс; через B — Есть ли дыхание. Тогда выходы левого, среднего и правого маршрута описываются логическими формулами $A \& B$, $A \& \bar{B}$, $\bar{A}$ соответственно.

Что добавляют эти формулы к визуальному алгоритму на рис. 7? Ровным счетом, ничего.

Хотя формулы правильные, они не помогают врачу, а скорее, запутывают, потому что приводят к тому же самому результату более сложным путем. Они не облегчают мышление врача, а напротив, требуют дополнительных умственных усилий.

Преимущество визуальной логики в том, что можно забыть о логических связках, отпадает необходимость рассуждать о конъюнкциях, дизъюнкциях, отрицаниях, т.е. можно забыть об алгебре логики. Нужно лишь уметь проводить пальцем или карандашом от начала до конца алгоритма и, встретив развилку, уметь отвечать «Да» или «Нет» на простые да-нетные вопросы, что гораздо легче и намного быстрее.

Отсюда следует, что курс логики для укрупненной группы профессий, специальностей и направлений подготовки 31.00.00 «Клиническая медицина» необходимо пересмотреть в пользу *эргономичной визуальной логики*. Теория визуальной алгебры логики представлена в работе [23], применительно к медицине (как логика клинических алгоритмов) она описана в работе [7, с. 122-151].

ЭРГОНОМИЧНЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ ЯЗЫК ВЫСОКОЙ ТОЧНОСТИ «ДРАКОН»

С учетом изложенных выше требований и принципов создан эргономичный язык ДРАКОН. Судьба его необычна. Он создавался вовсе не для медицины, а для космоса — в качестве языка программирования и моделирования для орбитального корабля «Буран» многократной транспортной космической системы «Энергия — Буран». Разработка языка велась с 1986 года при участии НПЦАП им. академика Н.А. Пилюгина и Института прикладной математики им. М.В. Келдыша РАН. Язык построен путём формализации, эргономизации и неклассической структуризации блок-схем алгоритмов и программ (рис. 8, 9).

Цель разработчиков состояла в создании единого языка, который своей доступностью и мощностью способен заменить специализированные языки: ПРОЛ2 (для разработки бортовых комплексных программ Бурана), ДИПОЛЬ (для создания наземных программ Бурана) и ЛАКС (для моделирования) [24]. Разработка языка и технологии ДРАКОН была завершена в 1996 году (спустя 3 года после неизбежного при распаде СССР, но грустного для участников закрытия программы Буран)¹.

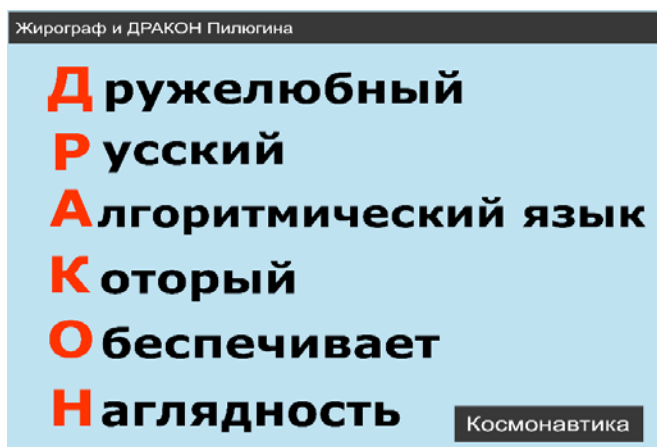


Рис. 8. Кадр из документального фильма «Жирограф и ДРАКОН Пилюгина» [37].

¹ Автор участвовал в разработке Бурана с первого до последнего дня. В то время я был начальником лаборатории комплексной разработки вычислительной системы Бурана.

За последние двадцать лет с помощью ДРАКОНа (и основанной на нем технологии разработки алгоритмов и программ ГРАФИТ-ФЛОКС) были созданы системы управления ряда крупных космических проектов: «Морской старт», «Протон-М», «Фрегат», «Наземный старт», «ДМ-03», «Ангара», южнокорейская ракета-носитель «KSLV» и др.

Пуски ракет-носителей и космических разгонных блоков, при создании которых использовался язык ДРАКОН, производятся или производились с шести космодромов мира: Плесецк, Байконур, Восточный, Кouriou (Французская Гвиана), плавучий космодром «Морской старт» (экваториальная зона Тихого океана), Наго (Южная Корея).

Применение языка ДРАКОН в медицине. Альгирдас Каралюс (Литва) был первым, кто указал на возможность крупномасштабного использования языка ДРАКОН в медицине в качестве удобного средства, позволяющего профессиональным врачам описывать и читать клинические алгоритмы как известные, так и вновь создаваемые.

Инициативу Каралюса активно поддерживали литовские врачи. Ученые и преподаватели Литовского университета медицинских наук (Lietuvos sveikatos mokslų universitetas), опираясь на книги автора [18] [19], проанализировали космический ДРАКОН, упростили его, убрали все, связанное с программированием, внесли полезные добавления и приспособили для медицинских нужд.

В Литве изданы четыре медицинских учебника на русском языке, в которых изображены клинические алгоритмы на языке ДРАКОН.

1. Начальная неотложная акушерская помощь [25].
2. Специализированная реанимация новорожденного [26].
3. Неотложная медицинская помощь [27].
4. Травма [28].

Учебники апробированы в ряде стран (Литва, Казахстан, Азербайджан, Таджикистан, Туркменистан, Киргизия) в рамках курсов повышения квалификации врачей. Курсы проводили высококвалифицированные специалисты из Литовского университета медицинских наук для местных врачей. Апробация дала положительные результаты [29].

В Литве разработан метод дистанционного симуляционного медицинского обучения нового типа – гибридная лаборатория HybridLAB <http://www.hybridlab.com>, где клинические алгоритмы представлены на ДРАКОНе.

Таким образом, эргономичный медицинский алгоритмический язык высокой точности ДРАКОН, описанный в монографии [7], создан в сотрудничестве с литовскими врачами.



Рис. 9. Старт комплекса «Энергия — Буран» 15 ноября 1988 года с космодрома Байконур

ПРИМЕР КЛИНИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА НА ЯЗЫКЕ ДРАКОН

Формализация клинического алгоритма с помощью конструкции «силуэт». В языке ДРАКОН предусмотрена алгоритмическая конструкция *силуэт*, обеспечивающая удобную структуризацию, декомпозицию и обладающая большими выразительными возможностями. Силуэт делится на смысловые структурные части — *ветки*; на рис. 10 показаны четыре ветки A, B, C, D.

Ветка имеет один вход и один или несколько выходов. Ветки изолированы друг от друга; передача управления осуществляется через связь выходов со входами. Например, ветка B на рис. 10 имеет три выхода C, D, A, позволяющие передать управление на входы веток C, D, A. Выход A передает управление влево, что означает *веточный цикл*; такой цикл помечен для наглядности черными треугольниками. Ветки упорядочены слева направо во времени.

Если к заготовке на рис. 10 (содержащей несвязный граф с четырьмя компонентами связности) добавить контур, получим силуэт (рис. 11). Контур позволяет превратить разрозненные ветки в целостный зрительный образ (связный граф), не только облегчающий восприятие, но и позволяющий проследить все маршруты алгоритма, не отрывая указку от чертежа, что наглядно показано на анимации — см. ссылку [30].

Каждая ветка имеет отчетливый зрительный ориентир — вертикальную жирную линию *шампур*. Шампур служит элементом структуризации, по которому проходит главный маршрут ветки, т.е. наиболее благоприятный для пациента маршрут (happy path). Остальные маршруты ветки, если таковые имеются, располагаются справа от шампура по принципу «чем правее, тем хуже».

Алгоритм «Реанимация беременной женщины». Будучи математической конструкцией, силуэт в то же время показывает смысловую (meaningful) сущность алгоритма. Деление силуэта на ветки производится *по смыслу*, причем абстрактные буквы A, B, C и т.д. заменяются на содержательные названия веток. Например, на рис. 12 алгоритм «Реанимация беременной женщины» по смыслу разделен на шесть веток с содержательными именами:

- Пояснение к алгоритму.
- Оценка состояния беременной.
- Лечение остановки дыхания.
- Начальная реанимация 30:2.
- Применение дефибриллятора.
- Дальнейшая помощь.

Дракон-алгоритм изучают слева направо, каждую ветку читают сверху вниз. Прочитав первую ветку, попадаем в икону Адрес (нижний пятиугольник), в которой указан адрес перехода, т.е. имя ветки, в начало которой следует перейти. Например, ветка «Оценка состояния беременной» имеет три иконы Адрес, указывая переход (goto) в три разных ветки: «Дальнейшая помощь», «Лечение остановки дыхания», «Начальная реанимация 30:2».

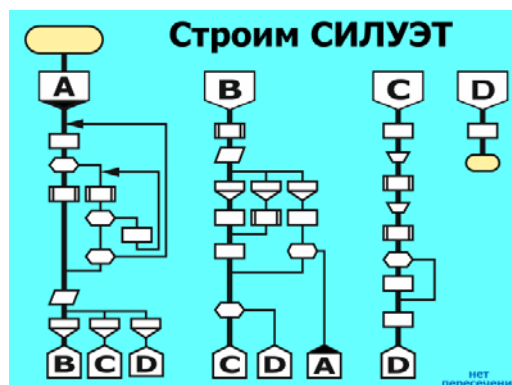


Рис. 10. Силуэт, лишенный контура

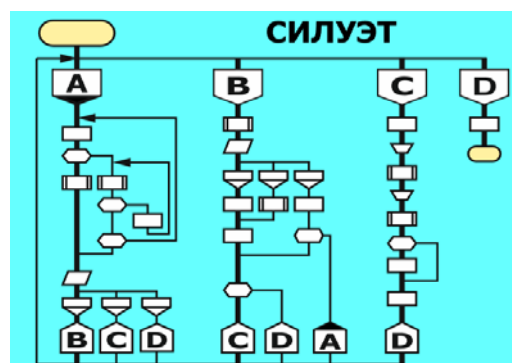


Рис. 11. Пример алгоритмической конструкции силуэт

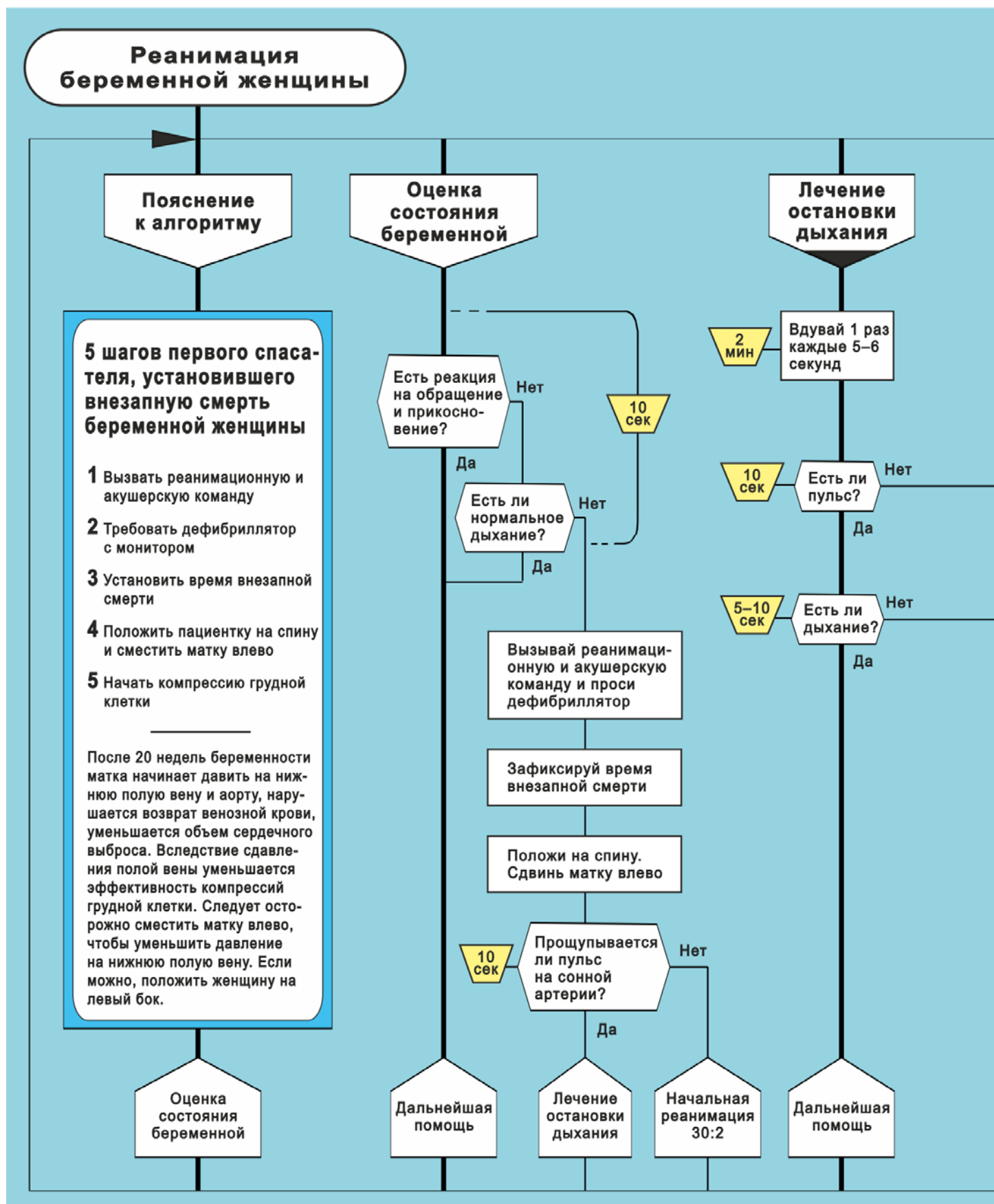
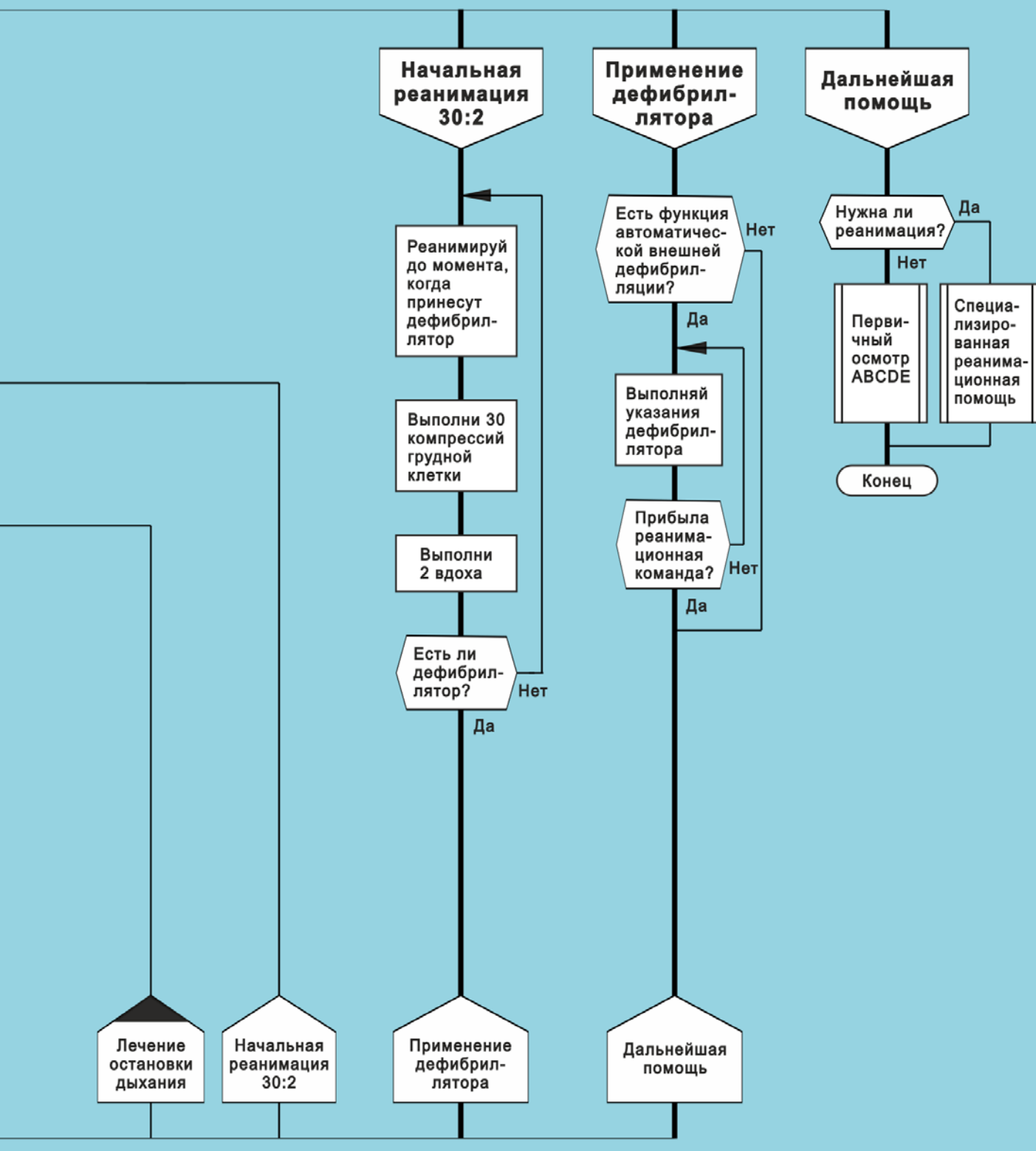


Рис. 12. Алгоритм «Реанимация беременной женщины» [25, р. 190]



В оригинале [25] ветка «Оценка состояния беременной» изображена с нарушением правила «чем правее, тем хуже» (рис. 13). Чтобы устранить дефект, надо три раза сделать рокировку. Первый раз выполняем рокировку в развилке «Есть реакция на обращение и прикосновение?». Это позволяет выпрямить изломанный

главный маршрут (жирная линия) и направить его по шампуру, как показано на рис. 14. Далее выполняем две рокировки в развилках:

- Есть ли нормальное дыхание?
- Прощупывается ли пульс на сонной артерии?

Тем самым удалось устранить нарушения правил ДРАКОНа, выявленные при анализе первоисточника [25]. Два алгоритма на рис. 13 и 14 являются эквивалентными. Они отличаются лишь внешним видом графики.

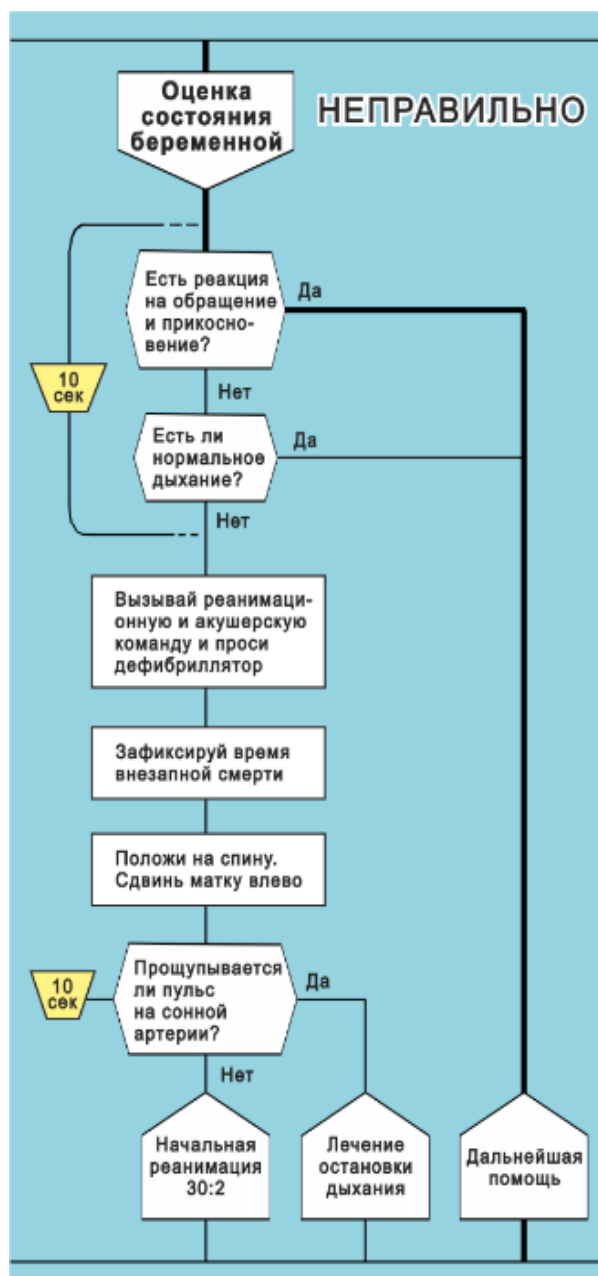


Рис. 13. Ветка с ошибкой. Нарушен принцип «Чем правее, тем хуже»



Рис. 14. Ошибка исправлена с помощью рокировки

ОШИБКИ В КЛИНИЧЕСКИХ АЛГОРИТМАХ, УГРОЖАЮЩИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПАЦИЕНТОВ

Ошибки в клинических алгоритмах провоцируют появление врачебных ошибок и негативно влияют на безопасность пациентов. В языке ДРАКОНа предусмотрены мощные средства для предотвращения алгоритмических ошибок.

Поток управления клинических алгоритмов. Покажем, что потенциально опасные *текстовые* средства управления потоком управления (control flow) можно заменить на безопасные *визуальные* средства управления. Разумно начать обсуждение в терминах программирования, тем более что язык ДРАКОН допускает такую возможность.

В 1968 году Эдсгер Дейкстра в журнале «Communications of the ACM» указал, что оператор *goto*, используемый во многих языках программирования высокого уровня, является основным источником ошибок и потому должен быть запрещен [31]. Бертран Мейер выявил еще два опасных элемента — операторы *break* и *continue*, который также следует запретить как замаскированные *goto*. По словам Мейера, это те же старые «*goto* в овечьей шкуре» [32, с. 210].

Язык ДРАКОН развивает традицию, начатую Дейкстрой и Мейером. Из языка ДРАКОН исключены служебные слова, организующие поток управления: *goto, break, continue, if, then, else, case, of, switch, while, do, repeat, until, for, foreach, loop, exit, when, last*. Вместо них используется математически строгая графика управления, которая реализует ту же самую функцию, что и перечисленные элементы.

Отрицательную роль текстовых операторов управления можно охарактеризовать как «опасный катализатор ошибок», ибо они:

- отвлекают внимание программиста, затрудняют понимание смысла программы;
- засоряют визуальную картину программы, создают визуальные помехи, являясь паразитными элементами, без которых можно обойтись;
- провоцируют появление ошибок.

Цель состоит в том, чтобы улучшить способность языка предупреждать появление ошибок и за счет этого повысить безопасность потока управления.

На рис. 15 слева показана программа на языке Си с операторами *switch, case, break*, а справа — эквивалентная дракон-программа. В левой программе используется большое количество «паразитных» служебных слов и знаков пунктуации:

- *switch*,
- *case* (два раза),
- *break* (два раза),
- две фигурные скобки,
- две круглые скобки,
- три двоеточия,
- пять точек с запятой.

Указанные слова и знаки для языка Си являются обязательными элементами исходного текста программы. Обойтись без них невозможно, они должны соответствовать формальным правилам синтаксиса языка Си, которые проверяются при компиляции в ходе лексического и синтаксического анализа.

С точки зрения языка ДРАКОН, дело обстоит принципиально по-другому. То, что важно и необходимо для Си, язык ДРАКОН рассматривает как лексический и синтаксический мусор, как ненужные и вредные элементы, которые подлежат изъятию и удалению, ибо они являются катализаторами ошибок.

В си-программе на рис. 15 использовано 55 символов (characters), а в дракон-программе всего 19, т.е. в 3 раза меньше. Благодаря графике дракон-программа легче для восприятия, в ней проще разобраться и заметить ошибку. Дополнительное удобство для чтения связано с тем, что размещение символов в пространстве подчиняется строгим правилам эргономичной декомпозиции и правилам отделения фигуры от фона.

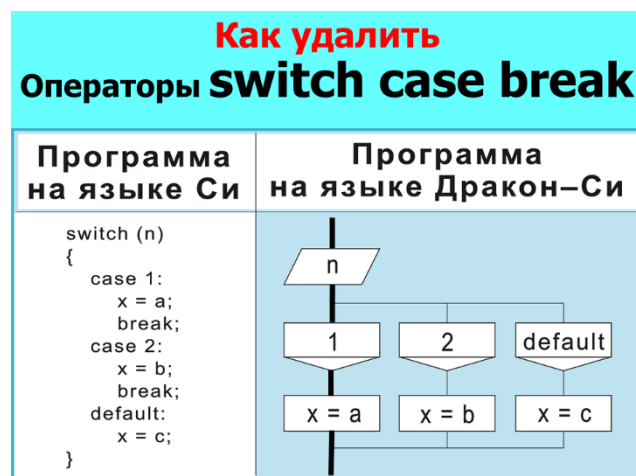


Рис. 15. Операторы *switch, case, break* можно удалить и заменить на управляющую графику языка ДРАКОН

Безопасный поток управления клинических алгоритмов. В клиническом алгоритме на рис. 16 операторы управления *switch*, *case*, *break* стали невидимыми; они превратились в линии и фигуры, т.е. в невидимую математику. Два чертежа (на рис. 15 *справа* и на рис. 16) идентичны и отличаются лишь надписями внутри икон.

Таким образом, в клинических дракон-алгоритмах вместо ненужных (паразитных) служебных слов и знаков пунктуации используются безопасные линии формального чертежа. Эргономичный чертеж гораздо лучше, чем текст, показывает маршруты алгоритма, разветвление потока в переключателе (рис. 16), а также петлю обратной связи и тело цикла (рис. 11, 12).

Высокая точность клинических алгоритмов достигается с помощью:

- метода визуальной логики (эргономичной визуальной алгебры логики);
- метода формализации потока управления путем замены управляющих операторов на безопасную эргономичную управляющую графику.

Оба метода представляют собой невидимую математику, так как обходятся без математических обозначений и формул.

Безопасность пациентов и качество алгоритмов. Безопасность пациентов напрямую зависит от качества клинических алгоритмов. Чтобы обеспечить высокую точность клинических алгоритмов и приблизить их свойства к свойствам настоящих алгоритмов, нужно их формализовать. Проблема в том, что клинические алгоритмы разрабатывают, читают и выполняют врачи, а математическая формализация может оказаться для них затруднительной.

Чтобы облегчить задачу и сделать ее комфортной для врачей, нужно упростить формализацию, убрав все формулы, т.е. применить невидимую математику. Последняя решает задачу с помощью удобных дракон-схем, которые интуитивно понятны и не вызывают трудностей. Доступность и легкость понимания дракон-алгоритма медиками достигается тем, что внутри графических фигур (икон) пишут надписи на родном для врачей медицинском языке (рис. 12, 16).

Уточнение понятия «эргономичный алгоритм». Клинический алгоритм можно назвать *эргономичным*, если процесс зрительного восприятия, понимания и постижения алгоритма протекает с максимальной скоростью, наименьшими умственными усилиями и **максимальной вероятностью выявления ошибок**. Эргономичный алгоритм — междисциплинарное понятие, объединившее теорию алгоритмов с когнитивной эргономикой в рамках единой концепции, облегчающей предотвращение ошибок [7, с. 9, 54, 334-338, 487].

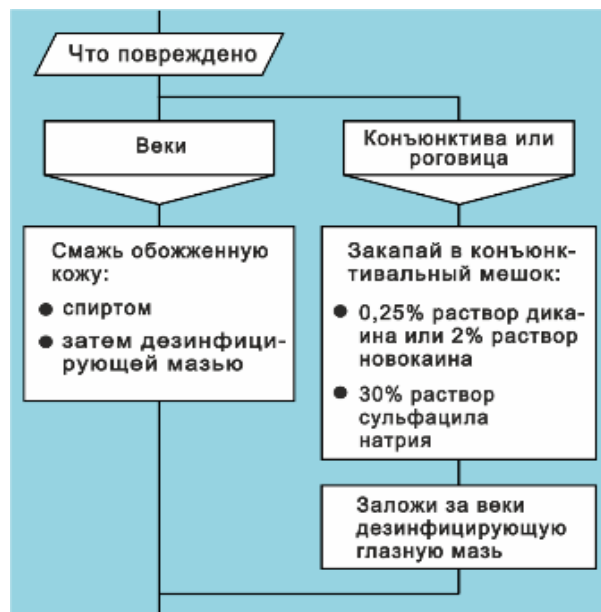


Рис. 16. Переключатель на два направления. Принцип «Чем правее, тем хуже» соблюдается.

ВИЗУАЛЬНОЕ ЛОГИЧЕСКОЕ ИСЧИСЛЕНИЕ И ПРОГРАММА ДРАКОН-КОНСТРУКТОР

Из математической логики известно, что логический вывод позволяет применять к аксиомам правила вывода и получать строго доказанные теоремы. Это утверждение справедливо не только для текста, но и для графики, т.е. для визуального логического

вывода и визуального логического исчисления (исчисления икон) [19, с. 427-435]. Исчисление икон является теоретической основой языка ДРАКОН и конструкции силуэт. Графика любого алгоритма-силуэт (например, на рис. 11 и 12) формируется не произвольно, а логически выводится из аксиомы-силуэт (рис. 17).

Применяя к аксиоме-силуэт правила визуального логического вывода, получим слепыш дракон-алгоритма. Это значит, что любой дракон-алгоритм, из которого удален текст, является доказанной теоремой. При этом имена входов и выходов веток должны быть указаны, чтобы однозначно определить порядок передачи управления между ними, как показано на рис. 11 буквами A, B, C, D.

Алгоритм-силуэт «Реанимация беременной женщины» (рис. 12) формируется из аксиомы-силуэт путем точных действий с валентными точками и иконами по правилам логического вывода, после чего графический узор дракон-схемы (слепыш) заполняют текстом.



Рис. 17. Аксиома-силуэт. Черными кружками помечены валентные точки аксиом

Программа дракон-конструктор и доказательство правильности. Программа дракон-конструктор хранит в своей памяти правила исчисления икон и реализует их при вычерчивании графики дракон-алгоритма. Правильность графики алгоритма-силуэт должна быть математически доказана (допускается не полное, а частичное доказательство). Благодаря исчислению икон частичное доказательство правильности графики алгоритма осуществляется без участия человека и достигается *автоматически* и совершенно бесплатно, так как дополнительные затраты труда, времени и ресурсов не требуются.

Во избежание ошибок врачу-разработчику клинического алгоритма запрещено рисовать какие-либо линии на чертеже. Все линии автоматически рисует дракон-конструктор. Пользователь лишь управляет этим процессом, выбирая из меню нужные иконы и указывая на чертеже валентные точки. Дракон-конструктор, подчиняясь разумным указаниям пользователя (и отвергая неразумные) автоматически применяет правила визуального логического вывода. Полученный результат (практически безошибочное автоматическое проектирование графики дракон-схем) является значимым достижением [2, с. 425-472].

Для врачей, создающих клинические алгоритмы, рекомендуется бесплатный дракон-конструктор DrakonHub <https://drakonhub.com> (автор С.Б. Митькин, Норвегия).

Тщательно разработанные и теоретически обоснованные правила построения дракон-алгоритма, учитывающие особенности зрительного восприятия, позволяют облегчить и ускорить понимание алгоритма. Благодаря правилам сложный и запутанный клинический алгоритм можно представить в виде комплекта ясных, доходчивых и дружелюбных (people-friendly) дракон-схем.

Высокая скорость разработки и сертификации клинических алгоритмов. Ожидаемые результаты использования языка ДРАКОН и дракон-редактора в медицине можно описать следующим образом.

- Быстрота экспертной оценки. (Опытный врач, не знакомый с языком ДРАКОН, способен мгновенно понять предъявленный ему клинический дракон-алгоритм и сразу же указать содержащиеся в нем ошибки и неточности).
- Высокая скорость компьютерной разработки. (Молодой врач, знающий алгоритм и освоивший дракон-конструктор, способен предъявить листинг алгоритма через 20-30 минут после начала разработки алгоритма).
- Высокая скорость разработки и отладки клинического алгоритма. (Совместная работа молодого врача и его научного руководителя, с учетом нескольких переделок алгоритма по замечаниям руководителя, не превышает двух-трех часов).

БУДУЩЕЕ АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ КЛИНИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЫ

Выше изложены основные положения теории эргономичных клинических алгоритмов [7], позволяющей создать безопасный эргономичный медицинский алгоритмический язык высокой точности и заложить фундамент алгоритмической клинической медицины.

В перспективе для всех нозологических форм, предусмотренных в Международной классификации болезней (МКБ-10, МКБ-11), будут созданы алгоритмы диагностики и лечения, размещенные в базе данных клинических дракон-алгоритмов (БД КДА) с возможностью демонстрации на больших экранах в режиме анимации.

В медицине необходимы концептуальные изменения. Все виды медицинской литературы и медицинского образования, в которых трактуются, разъясняются или описываются клинические алгоритмы, устарели. Это означает, что в той или иной степени устарели и нуждаются в совершенствовании:

- медицинские учебники, курсы лекций и учебные пособия;
- медицинские руководства;
- клинические рекомендации;
- протоколы диагностики и лечения;
- медицинские стандарты;
- публикации в медицинских журналах и книгах.

Суть в том, что устарело прежнее понимание и прежние способы записи клинических алгоритмов, поскольку они не обладают свойством **определенности** (детерминированности) и представляют опасность для пациентов. Им на смену должны прийти безопасные эргономичные клинические алгоритмы высокой точности, написанные на языке ДРАКОН с помощью дракон-конструктора.

Актуальной задачей является создание нового поколения медицинской литературы, опирающейся на принципы алгоритмической клинической медицины. Это очень большая работа, и начинать ее необходимо уже сегодня.

Проблема диагностических алгоритмов является одной из наиболее трудных. Изложение клинических алгоритмов часто ведут без описания диагностических процессов и деревьев решений, т.е. без детального раскрытия и подробного описания *целостных* пошаговых диагностических алгоритмов. Вместе с тем цепочки логических диагностических решений (если-то-иначе), предшествующих лечению, могут быть очень сложными и разветвленными, со многими вложениями.

Такое положение следует признать небезопасным и недопустимым, чреватым летальными исходами. В докладе Национальной академии медицины США 2015 года «Улучшение диагностики в здравоохранении» отмечается:

«Посмертные вскрытия, охватывающие данные за десятилетия исследований, показывают, что диагностические ошибки влекут за собой примерно 10% смертей пациентов. В обзорах медицинской документации говорится, что диагностические ошибки составляют от 6 до 17% от числа неблагоприятных происшествий в больницах» [3, pp. 1, 356].

Согласно отечественным данным:

«В среднем более чем у 15% больных заключительные клинические диагнозы, как показывают аутопсии, являются ошибочными... Основное заболевание при жизни пациента не распознается клиницистом примерно у 15–20% больных, умерших в стационарах нашей страны. Близкие цифры характерны и для стационаров других стран» [33].

Диагностический процесс представляет собой цепочку принятия решений, которая для некоторых врачей может оказаться затруднительной и даже чрезмерно трудной. Авторы учебника «Поликлиническая терапия» (СамГМУ) отмечают:

«Ни для кого не секрет, что даже в самых оснащенных лечебно-профилактических учреждениях некоторые специалисты (особенно молодые врачи) не могут принять решения даже при наличии в их распоряжении всех (!) необходимых данных. Они просто не обучены принятию решений» [34].

Указанным специалистам нужна помощь в виде наглядной подсказки, облегчающей их сложный умственный труд. Наиболее эффективная помощь — не тупое «заглядывание в ответ», а наглядные образцы учебных диагностических дракон-алгоритмов, размещенные в БД КДА. Последние значительно облегчают принятие диагностических и иных решений, ибо обеспечивают возможность «пощупать» процесс принятия решений — *провести пальцем или указкой от начала до конца алгоритма, прослеживая все без исключения действия и решения на всех маршрутах алгоритма*. Трудности при принятии решения снижаются или исчезают, так как дракон-алгоритмы обеспечивают:

- наличие удобных ориентиров в виде броских шампуров, отделяющих благоприятные для пациента исходы от неблагоприятных;
- наглядное изображение алгоритмов по принципу: одно начало, один конец, позволяющее «разложить мысли по полочкам»;
- удобный клинический чертеж, как наглядно-чувственную опору мышления;
- запрещены пересечения линий, обрывы и соединители;
- четкий порядок и удобные правила, облегчающие восприятие и организующие быстрое и комфортное клиническое мышление.

Острым остается вопрос о создании теории диагноза. По мнению академика РАН, ректора ВолгГМУ В.И. Петрова, «теория построения диагноза разработана недостаточно и в настоящее время напоминает заброшенную вещь, пылящуюся на чердаке» [35]. Теория эргономичных клинических алгоритмов высокой точности позволяет сделать заметный вклад в теорию диагноза.

Представленные результаты создают надежную основу для создания информационных и экспертных систем и других средств автоматизации.

ОТЗЫВЫ ЛИТОВСКИХ ВРАЧЕЙ О ЯЗЫКЕ ДРАКОН

Доктор мед. наук А. Кудрявичене, неонатолог:

«Язык ДРАКОН – отличный инструмент для обучения практическим навыкам и их стандартизации. Он позволяет выявить все, даже мельчайшие, но очень важные действия».

Доктор мед. наук, проф. М. Ключинскас, акушер-гинеколог:

«Язык ДРАКОН позволяет систематизировать процессы с минимальным применением текста – как при организации работы, так и при выполнении медицинских процедур. Он помогает всем одинаково понимать и выполнять конкретные действия... Позволяет ускорить запоминание действий».

Доктор мед. наук, проф. Ж. Дамбраускас, абдоминальный хирург:

«Огромным преимуществом языка ДРАКОН является то, что он позволяет конкретно выявить все этапы процедуры или процесса... Мысленно можешь

повторить процесс этап за этапом, а затем каждый этап разделить на шаги... Процедуру или процесс можно выполнить мысленно, а затем и в реальности. ДРАКОН является инструментом мысленной тренировки».

Врач Б. Кумпайтене, анестезиолог-реаниматолог:

«Польза языка ДРАКОН для разрабатывающего алгоритм автора состоит в том, что проявляется, кристаллизуется и стандартизируется каждый навык, каждая процедура. Польза для обучающегося – это ясный путь выполнения действий. ДРАКОН дает ответ на вопросы “что делать, если”».

А. Вилейките, координатор медицинского учебного Центра исследования кризисов:

«Применение языка ДРАКОН позволяет стандартизировать и эргономично представить самую сложную процедуру... Если всё правильно описано на ДРАКОНе, значит, всё будет отлично выполнено».

Доктор мед. наук, проф. Динас Вайткайтис, зав. кафедрой экстремальной медицины:

«Язык ДРАКОН даёт ясность и чёткость процессам, применяемым в медицине. Он позволяет “автоматизировать” обучение студентов практическим навыкам. Может стать основой для технологии принятия клинических решений».

Доктор мед. наук П. Добожинскас, исполнительный директор медицинского учебного Центра исследования кризисов:

«Применение языка ДРАКОН действительно помогает в создании и описании сложных, динамичных решений медицинских проблем. Тем самым значительно облегчается проведение стандартизированного симуляционного обучения, внедряя культуру безопасности пациентов и принципы качественного оказания медицинских услуг в масштабах медицинского учреждения, региона или государства».

Доктор мед. наук, проф. Р.Й. Надишаускене, зав. клиники акушерства и гинекологии, главный специалист по акушерству и гинекологии Литовской республики:

«Алгоритмизация медицины подразумевает значительную перестройку системы медицинского образования и перевод ее на алгоритмический путь... Накопленный в Литве практический положительный опыт использования языка ДРАКОН для представления сложных и разнообразных медицинских алгоритмов может послужить серьезной основой для принятия крупных структурных решений руководителями здравоохранения и системы медицинского образования в области алгоритмизации медицины».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ФУМО МИНЗДРАВА РФ «КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА» О ЯЗЫКЕ ДРАКОН

Заключение подготовлено Федеральным учебно-методическим объединением в системе высшего образования по укрупненной группе профессий, специальностей и направлений подготовки 31.00.00 «Клиническая медицина». В Заключении, в частности, говорится:

1. «Предложенный В.Д. Паронджановым подход к представлению медицинских данных и знаний на языке визуализированного

представления алгоритмов визуальном языке «Дракон» представляет несомненный интерес.

2. «Для внедрения этого подхода в практику преподавания в медицинских учебных заведениях целесообразно представить учебный курс по одной из дисциплин, преподаваемых в медицинском вузе, с использованием языка визуализированного представления для последующего обсуждения на семинаре с профессорско-преподавательским составом, который может провести Кафедра информационных и интернет-технологий.
3. «Для внедрения предложенного подхода в практику информационного обмена и представления медицинских документов необходимо проведение соответствующей научно-исследовательской работы, в рамках которой следует оценить актуальность, целесообразность и эффективность предложенного подхода, включая финансовые и кадровые ресурсы.
4. «Для обеспечения работы целесообразно разработать национальный стандарт представления медицинских данных и клинических документов в виде конструкций предложенного языка визуализированного представления, согласованного с действующими национальными стандартами и нормативными документами» [36].

Заключение подписал Председатель ФУМО, первый проректор Первого МГМУ имени И.М. Сеченова член-корреспондент РАН, профессор А.А. Свистунов.

ПОДГОТОВКА УЧЕБНОГО ПОСОБИЯ И ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ПО АЛГОРИТМИЧЕСКОЙ КЛИНИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЕ

Необходимо прежде всего создать и предъявить медицинской общественности примерно 100 различных лечебных и диагностических алгоритмов на языке ДРАКОН, созданных российскими врачами, играющих роль образцов для обсуждения и критики, а также выпустить учебное пособие дисциплины «Алгоритмическая клиническая медицина» и подготовить преподавателей по этой дисциплине.

Работу нужно разбить на части. В качестве первого шага необходимо подготовить и издать небольшую электронную и печатную книгу, содержащую 10-20 клинических дракон-алгоритмов, одобренную Федеральным учебно-методическим объединением в системе высшего образования по укрупненной группе профессий, специальностей и направлений подготовки 31.00.00 «Клиническая медицина».

В состав авторов следует пригласить 5-10 инициативных молодых врачей, каждый из которых досконально знает несколько клинических алгоритмов, владеет компьютером и готов быстро освоить дракон-конструктор DrakonHub <https://drakonhub.com> Каждый участник проекта должен разработать под моим руководством два-три клинических алгоритма, и создать описание к ним по определенным правилам. Чтобы помочь авторам изучить правила языка ДРАКОН, пользуясь руководством [7], и освоить дракон-конструктор, я проведу с ними занятия.

Подготовку преподавателей по алгоритмической клинической медицине и выпуск учебного пособия по этой дисциплине можно рассматривать как начальный этап многоступенчатого плана работ по реализации будущих концептуальных изменений в медицинском образовании и медицинской литературе, обеспечивающих практический переход к алгоритмической клинической медицине.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлена фундаментальная проблема, связанная с дефектами медицинского языка и клиническими алгоритмами. Установлено, что проблема безопасности пациентов изучена не в полной мере. Причина многих врачебных ошибок, приносящих вред пациентам — чрезмерная сложность клинического мышления, вызванная процедурной и логической слабостью профессионального медицинского языка, отсутствием качественных клинических алгоритмов.

Предлагается реформировать клиническую медицину и преобразовать ее в *алгоритмическую* клиническую медицину. Научное обоснование, детальная проработка, экспериментальное подтверждение и возможность крупномасштабной реализации этого проекта представлены в монографии [7].

Медицинский язык должен быть безопасным для пациентов, а для этого нужны специальные средства. Ключевым средством является алгоритмизация, т.е. расширение выразительных возможностей медицинского языка с помощью эргономичного алгоритмического языка высокой точности. Данный язык предлагается включить в систему медицинского образования наравне с латинским языком.

Введено фундаментальное понятие «эргономичный клинический алгоритм высокой точности», разработана теория эргономичных клинических алгоритмов, создан эргономичный медицинский алгоритмический язык высокой точности ДРАКОН, метод невидимой математики, исчисление икон и программа дракон-конструктор. Указанные новации позволяют повысить качество и облегчить работу врачей при диагностике и лечении, повысить безопасность пациентов.

Язык ДРАКОН и дракон-конструктор устраняют дефекты медицинского языка, уменьшают чрезмерную интеллектуальную нагрузку на врачей, делают ее посильной, комфортной и безопасной. Язык ДРАКОН используется на практике группой клиницистов и преподавателей из Литовского университета медицинских наук.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] To Err is Human: Building a Safer Health System / Linda T. Kohn, Janet M. Corrigan, and Molla S. Donaldson, editors. – Committee on Quality of Health Care in America, Institute of Medicine. 1999, 2000. – 312 p. – <http://nap.edu/9728>.
- [2] Crossing the Quality Chasm: a New Health System for the 21st Century. – Committee on Quality Health Care in America, Institute of Medicine. 2001. – 360 p. – <http://nap.edu/10027>.
- [3] Improving Diagnosis in Health Care / Erin P. Balogh, Bryan T. Miller, and John R. Ball, Editors. – Committee on Diagnostic Error in Health Care. Board on Health Care Services. Institute of Medicine. 2015. – 472 p. – P. 1, 356. — <http://nap.edu/21794>.
- [4] Dzau Victor J. A Call to Action // 2nd Global Ministerial Summit – A Global Movement on Patient Safety. 29-30 March 2017, Bonn, Germany — <https://bit.ly/2NUgYBW>.
- [5] Crossing the global quality chasm: Improving health care worldwide \ Committee on Improving the Quality of Health Care Globally; Board on Global Health; National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2018. — 346 p. — <http://nap.edu/25152>.
- [6] World Health Organization. 10 facts on patient safety. Updated March 2018. — http://www.who.int/features/factfiles/patient_safety/en/.
- [7] Паронджанов В.Д. Почему врачи убивают и калечат пациентов, или Зачем врачу блок-схемы алгоритмов? Иллюстрированные алгоритмы диагностики и лечения

- перспективный путь развития медицины / Предисл. члена-корр. РАН Г.В. Порядина. — М.: ДМК Пресс, 2017. 340с.
- [8] Реформатский А. А. Введение в языкознание. Учебник для вузов. / Под ред. В. А. Виноградова. 5-е изд., испр. — М.: Аспект пресс, 2004. — 536 с. — С. 26.
- [9] Людвиг Витгенштейн. Человек и мыслитель. / Перевод с англ. / Составление и заключит. статья В. П. Руднева. — М.: Прогресс, Культура, 1993. — 352 с. — С. 104.
- [10] Козлова М. С. Философские изыскания Л. Витгенштейна. // Витгенштейн Л. Философские работы. Часть I. / Перевод с нем. / Составление, вступ. статья, примеч. М. С. Козловой. — М.: Гнозис, 1994. — 612 с. — С. XVI.
- [11] Порядин Г.В. Предисловие. Перспективы развития медицины и медицинского образования // Паронджанов В.Д. Почему врачи убивают и калечат пациентов, или Зачем врачу блок-схемы алгоритмов? — М.: ДМК Пресс, 2017. — 340 с. — С. 16-20.
- [12] Гиппократ. Избранные книги. Перевод с греч. проф. В. И. Руднева. — М.: Биомедгиз, 1936. — 736 с. — С. 87.
- [13] Улумбекова Г.Э. Анализ численности, структуры и квалификации медицинских кадров в Российской Федерации и ключевые задачи кадровой политики на период до 2020 г. // Медицинское образование и профессиональное развитие. — 2010. № 1. — С. 11–24.
- [14] Медицина в афоризмах и крылатых выражениях от истоков до наших дней. / Ачкасов Е. Е., Мискарян И. А., — М.: «Профиль-2С», 2009. — 448 с. — С. 198.
- [15] Алгоритмы диагностики и лечения в хирургии / Мак-Интайр Р. Б., Стигманн Г. В., Айсман Б. Перевод с английского под ред. акад. В.Д. Федорова, член-корр. В. А. Кубышкина. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. — 744 с.
- [16] Samwald M., Fehre K., De Bruin J., Adlassnig K.P. The Arden Syntax standard for clinical decision support: Experiences and directions // Journal of Biomedical Informatics. — Vol. 45, Issue 4, August 2012, pp. 711-718. —, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1532046412000226?via%3Dihub>.
- [17] Непейвода Н. Н. Алгоритм // Новая философская энциклопедия: В 4-х т. / Ин-т философии РАН. / Под. ред Степина В. С., Гусейнова А. А. и др. — М.: Мысль, 2010. — Том 1. — 744 с. — С. 76.
- [18] Паронджанов В. Д. Дружелюбные алгоритмы, понятные каждому. Как улучшить работу ума без лишних хлопот. — М.: ДМК-пресс, 2010, 2014, 2016. — 464 с.
- [19] Паронджанов В. Д. Учись писать, читать и понимать алгоритмы. Алгоритмы для правильного мышления. Основы алгоритмизации. — М.: ДМК Пресс, 2012, 2014, 2016. — 520 с.
- [20] Антонова С. Г., Васильев В.И., Жарков И. О. и др. Редакторская подготовка изданий. Учебник. \ Под ред. проф. С. Г. Антоновой. — М.: МГУП, 2002. — 468 с. — С. 371.
- [21] Йодан Э. Структурное проектирование и конструирование программ. / Пер. с англ. / Под ред. Л.Н. Королева. — М.: Мир, 1979. — 416 с. — С. 252.
- [22] Майерс Г. Надежность программного обеспечения / Пер с англ. / Под ред. В.Ф. Кауфмана. — М.: Мир, 1980. — 360 с. — 292.
- [23] Паронджанов В.Д. Часть 4. Алгоритмическая логика. Математическая логика в алгоритмах. Визуальная алгебра логики. — М.: 2018. — 63 с. — <https://bit.ly/2OscmmC>.
- [24] Паронджанов В. Д. Графический синтаксис языка ДРАКОН. // Программирование. 1995. Т. 3. № 3. — С. 45–62..

- [25] Начальная неотложная акушерская помощь. Учебник. / Под ред. Р. Й. Надишаускене. — Литва: Центр исследования кризисов, Университет наук здоровья Литвы, 2012. — 204с.
- [26] Специализированная реанимация новорожденного. Учебник. / Под ред. Р.Й. Надишаускене. — Литва: Центр исследования кризисов, Университет наук здоровья Литвы, 2012. — 396 с.
- [27] Неотложная медицинская помощь. Учебник. / Под ред. Д. Вайткайтиса. — Литва: Центр исследования кризисов, Университет наук здоровья Литвы, 2012. — 265 с.
- [28] Травма. Учебник. / Под ред. Д. Вайткайтиса. — Литва: Центр исследования кризисов, Университет наук здоровья Литвы. — 2012. — 440 с.
- [29] Vileikytė A., Nadišauskienė R.J. et al. Algoritminės „Drakon“ kalbos pritaikymas medicinoje // Lietuvos akušerija ir ginekologija 2014 rugsėjis, tomas XVII, Nr. 3. 192–196.
- [30] Анимация ДРАКОН-алгоритма
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a2/DRAKON_algorithm_animation.gif.
- [31] Dijkstra E. Go To Statement Considered Harmful // Communications of the ACM, Volume 11, No. 3, March 1968, pp. 147-148. — Association for Computing Machinery, Inc.
- [32] Мейер Б. Почувствуй класс. Учимся программировать хорошо с объектами и контрактами. Перевод с англ. / Под ред. В.А. Биллига. — М.: ИНТУИТ, БИНОМ, 2011. — 775 с.
- [33] Автандилов Г. Г., Зайратьянц О. В., Кактурский Л. В. Оформление диагноза. Учебное пособие. — М.: Медицина, 2004. — 304 с. — С. 19.
- [34] Поликлиническая терапия. Учебник. / Под ред. И.Л. Давыдкина, Ю.В. Щукина. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2013. — 688 с. — С. 15.
- [35] Петров В. И. Клиническое мышление в системе высшего медицинского образования в России // Международная конференция «Медицинское образование в России и мире: традиции и современность». 26 марта 2010. Москва, «Holiday Inn Lesnaya».
- [36] Заключение Федерального учебно-методического объединения в системе высшего образования по укрупненной группе специальностей и направлений подготовки «Клиническая медицина». — https://drakon.su/_media/otvet_iz_minzdrava.pdf.
- [37] Н. Бурцева, Е. Петров. Жирограф и ДРАКОН Пилюгина. Телерадиостудия Роскосмоса. (17 мая 2008). — Фильм выпущен к 100-летию со дня рождения Главного конструктора систем управления ракет-носителей, академика Н. А. Пилюгина. — <http://www.tvroscosmos.ru/3559>.

Старший научный сотрудник ФГУП НПЦАП
им. академика Н.А. Пилюгина,
кандидат технических наук

В.Д. Паронджанов

Владимир Данилович Паронджанов
Mobile: +7-916-111-91-57
Viber: +7-916-111-91-57
E-mail: vdp2007@bk.ru
Skype: vdp2007@bk.ru

