

УДК 616.01/-099

Е. А. Семенова, В. В. Шаповалов
 Санкт-Петербургский государственный электротехнический
 университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

Автоматизированные системы скринирующей диагностики

Представлены медицинские автоматизированные системы скринирующей диагностики. Рассмотрена базовая структура подобных систем. Описаны комплексы управления вакцинопрофилактикой в медицинском учреждении. Представлены основные элементы медицинской аналитической информационной системы «Управления вакцинопрофилактикой».

Автоматизированные системы и комплексы, скринирующая диагностика, программный комплекс, вакцинопрофилактика

Медицинские автоматизированные системы скринирующей диагностики. Главные изменения, происходящие с человеком и связанные с изменением условий существования человечества, сегодня во многом определяются быстро возрастающей мощностью информационных технологий. Информационные технологии вторгаются практически во все сферы деятельности, дают мощный толчок к ускорению и развитию всех отраслей, даже, казалось бы, далеких от точных наук [1]–[3].

Идея важности профилактической медицины, т. е. понимания значения активного наблюдения за здоровыми людьми в целях предупреждения заболеваний, выдвигалась еще в первой половине XIX в. В конце XIX в. была предпринята одна из первых попыток проверить практически здоровых людей на наличие неинфекционных заболеваний. В первом десятилетии XX в. обследования расширили, включив также выявление общих физических нарушений. Основные проблемы были связаны с отсутствием технических средств информационной поддержки, называемых сегодня информационными технологиями [4].

Основными задачами многопрофильного скрининга были и есть:

1. Обеспечение качественной периодической проверки состояния здоровья:

- оценка состояния здоровья;
- мониторинг состояния здоровья и его динамики;
- раннее распознавание заболеваний;
- наблюдение динамики заболеваний при известной болезни.

2. Составление аналитических обзоров по результатам обследований.

3. Обеспечение предварительного обследования при госпитализации.

4. Снижение нетрудоспособности, инвалидизации и смертности.

5. Уменьшение общей стоимости лечения.

Для того чтобы успешно и быстро решать задачи информатизации здравоохранения и, в частности задачи создания систем, реализующих технологии профилактической медицины, разработана методология многопрофильной оценки здоровья населения, реализованная в виде автоматизированных систем скринирующей диагностики (АССД) здоровья людей. Осуществляется широкое их внедрение в практическое здравоохранение России и других стран. В частности, с 1991 г. в России ведется внедрение автоматизированных комплексов для скринирующих обследований детей и подростков (АКДО). В 2005 г. началось внедрение аналогичных комплексов для скринирующих обследований взрослого населения.

Системы и комплексы типа АССД принципиально отличаются от традиционных информационных систем, как правило, обеспечивающих сбор и обработку каких-либо массивов медицинской информации и механически заменяющих некие рутинные операции. Главное отличие – системы и комплексы АССД опираются на строго формализованное и стандартизованное медицинское обеспечение (на основе которого формируется база знаний экспертной системы), определяющее все этапы обследования (технология

осмотра, анкетирование, программированный осмотр, инструментальное обследование, решающие правила, нормативы, подготовка медперсонала и пр.). Количественная оценка здоровья производится на основе комплексной модели, опирающейся на опыт экспертов высокого класса. Это позволяет проводить расчет рисков хронизации по большому числу хронических заболеваний.

Кроме того, класс решающих правил, адекватных логике врача-энциклопедиста высочайшей квалификации, позволяет решать сложнейшие задачи ранней стандартизованной многопрофильной диагностики здоровья.

Системы АССД для раннего выявления заболеваний построены на принципах скринирующей диагностики, т. е. нацелены на сбор максимального объема информации в сжатые сроки, достаточно сложную компьютерную обработку по оригинальным решающим правилам, адекватно реализующим врачебную логику, и получение достоверной количественной и верифицированной информации об отклонениях (рисках) в здоровье пациентов. Они позволяют проводить количественный сравнительный анализ «измерений» здоровья, полученных в разные сроки, в различных местах и различными медработниками, работающими с такими системами. Фактически речь идет о новом классе медицинских информационных систем, создание которого потребовало разработки новых подходов к производству медицинского обеспечения и новых математических методов и программных инструментов.

В настоящее время появились сотни видов монотестирования неинфекционных заболеваний (гипертонии, диабета, генетических заболеваний, онкологических заболеваний и пр.), однако в большинстве случаев эти методы достаточно дороги и часто прилагаются к дорогому системному исследованию здоровья пациента. К сожалению, типичный пример такого подхода – современная российская модель диспансеризации, которая не только оказалась не по карману государству, но и, в силу неподъемности для лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ), стала причиной огромного количества приписок и фальсификаций.

АССД ставят во главу угла классическое системное экспресс-исследование здоровья, опирающееся на экспертную базу знаний профилактической медицины, составленную лучшими клиницистами. Клинические исследования таких систем показали, что в сочетании с технологиями

искусственного интеллекта они показывают высокую медицинскую эффективность (более 80 %) при выявлении рисков по двум десяткам направлений хронической патологии при невысокой стоимости обследования. Обследования с помощью таких систем могут проводиться средним медперсоналом [5].

В распоряжении организаторов здравоохранения появился новый, хорошо стандартизованный «инструмент», с помощью которого можно справляться с задачами, решение которых еще совсем недавно казалось делом недостижимым. К ним относятся:

- высокоэффективное, раннее и недорогое выявление рисков хронических заболеваний, в том числе определение скрытой патологии по широкому спектру направлений;
- представление информации для врача-диагноста в виде, позволяющем делать системные аналитические заключения и выбирать оптимальную стратегию до обследования и лечения;
- формирование на основе мониторинга информационных баз данных о здоровье населения;
- проведение специальных статистических исследований и прогнозирование тенденций состояния здоровья как отдельного человека, так и коллективов, отдельных социальных групп, а также населения регионов, государств и т. д.

Для создания подобных систем были разработаны:

- технология автоматизированного формирования медицинского обеспечения для медицинских экспертов;
- формальная модель процесса многопрофильного скрининга;
- рассмотрена структура экспертных знаний, составляющих внутреннее медицинское обеспечение автоматизированной системы многопрофильного скрининга в ходе проведения диспансерного обследования;
- разработаны лингвистические средства формального представления экспертной составляющей;
- выбраны содержание и средства разработки формального описания внутреннего медицинского обеспечения;
- определена структура медицинской информационной системы многопрофильного скрининга с унифицированным формальным представлением медицинского обеспечения;
- разработаны концептуальные основы и технология построения экспертных систем с элементами метауправления функциональностью;

- разработаны методы построения решающих правил в АССД на основе теории размытых множеств;
- построены средства манипулирования многомерными данными на базе их онтологии;
- разработана теория и построена система верификация базы экспертных медицинских знаний для сложных систем многопрофильного скрининга.

На рис. 1 представлена базовая структура АССД.

В настоящее время реализовано две модификации АССД, а именно:

- АКДО-Д – для обследования детей и подростков в возрасте от 3 до 18 лет;
- АКДО-В – для обследования взрослого населения в возрасте старше 18 лет.

Появление данных модификаций обусловлено возрастными характеристиками обследуемых, так как для каждого из диапазонов возрастов необходимо проведение отличающихся по составу обследований.

Количественная оценка рисков по направлениям хронических заболеваний, построенная по оригинальным решающим правилам, и опираю-

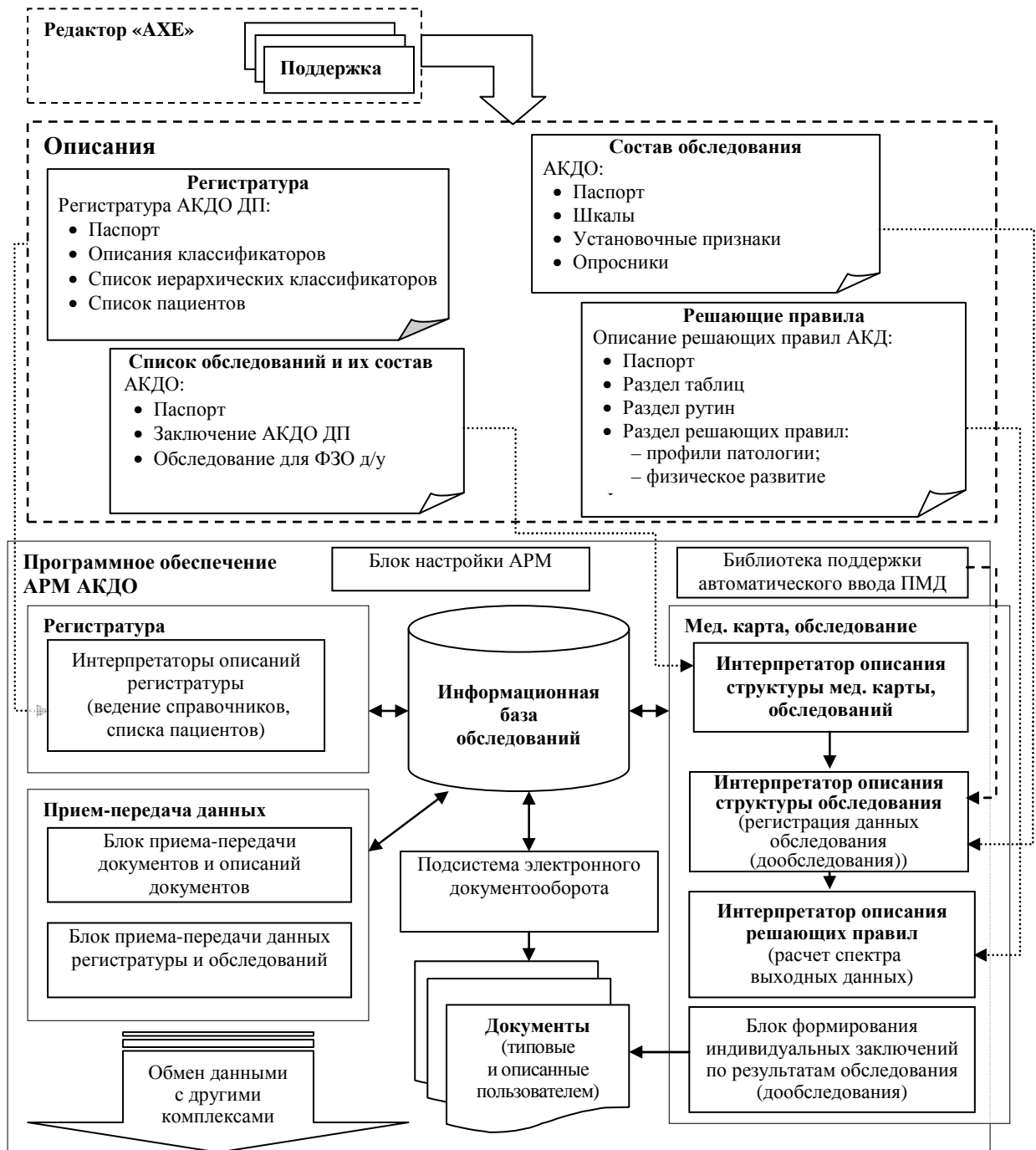


Рис. 1

щаяся на базу знаний профилактической медицины, позволила решить важную и трудную задачу – задачу эффективной оценки здоровья. Эти системы нашли применение не только в учреждениях здравоохранения, но и в офисах семейных врачей, занимающихся профилактической работой со своими пациентами.

Однако сами по себе балльные оценки не должны быть конечной целью профилактического медицинского осмотра. Эти системы позволяют оценивать не только степень хронизации человека, но и качество проведения последующих лечебных и реабилитационных мероприятий и степень их адекватности и достаточности для данного пациента.

Общий перечень направлений оцениваемых рисков хронизации для детского и взрослого населения представлен в табл. 1 и 2 соответственно.

Автоматизированное обследование завершается количественной оценкой по каждому из профилей патологии.

Приведем некоторые технико-экономические показатели комплекса АКДО.

Численность персонала – 2 человека (1 медсестра с высшим образованием и 1 медсестра).

Полное время осмотра 1 пациента – 20...25 мин.

Пропускная способность комплекса – порядка 4000 чел./г.

Число профилей патологии – 20–22; число предварительных диагнозов – свыше 300.

Характеристика достоверности заключения (в среднем по профилям патологии):

– гипердиагностика – менее 11 %;

- гиподиагностика – менее 15 %;
- медицинская эффективность – более 85 %;
- срок окупаемости – порядка менее 1 года.

В результате проделанной врачами и инженерами огромной работы отечественное практическое здравоохранение получило мощный интеллектуальный инструмент, позволяющий при небольших трудовых и финансовых затратах эффективно решать сложные задачи диспансерных обследований.

Комплексы управления вакцинопрофилактикой в медицинском учреждении. Инструментом реализации вакцинопрофилактики служит календарь прививок, определяющий, какие вакцины, в какое время, как часто должны быть введены в определенном возрасте детям, подросткам, взрослым. Каждая страна с учетом рекомендаций Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) разрабатывает свой календарь прививок, который зависит от многих факторов:

- эпидемической ситуации в стране;
- возрастного распределения и тяжести тех или иных инфекционных заболеваний;
- наличия безопасных вакцинных препаратов и их экономической доступности;
- эффективности существующих вакцин, продолжительности поствакцинального иммунитета и необходимости ревакцинаций в определенных интервалах;
- возрастной иммунологической характеристики, т. е. способности детей определенного возраста к активной выработке антител;
- уровня организации здравоохранения.

Это определило задачу создания системы автоматизированного управления иммунизацией. Преимущества этой системы – единая база дан-

Таблица 1

№ п/п	Направления	№ п/п	Направления	№ п/п	Направления
1	Логопедия	9	Кардиология	17	Аллергология
2	Эндокринология	10	Питание	18	Ревматология
3	Психоневрология	11	Генетика	19	Нефрология
4	Ортопедия	12	Дерматология	20	Гематология
5	Хирургия	13	Пульмонология	21	Гастроэнтерология
6	Офтальмология	14	Фтизиатрия	22	Онкология
7	Отоларингология	15	Иммунология	23	Оценка физического развития
8	Невропатология	16	Стоматология

Таблица 2

№ п/п	Направления	№ п/п	Направления	№ п/п	Направления
1	Аллергология	8	Кардиология	15	Онкология
2	Гастроэнтерология	9	Отоларингология	16	Ортопедия
3	Гематология	10	Наркология	17	Офтальмология
4	Гинекология	11	Невропатология	18	Психиатрия
5	Дерматология	12	Нефрология	19	Пульмонология
6	Ревматология	13	Стоматология	20	Урология
7	Фтизиатрия	14	Эндокринология

ных в ЛПУ, которая легко модифицируется; возможность получения любых учетно-отчетных данных в любой момент времени; проведение любого анализа по вопросам вакцинопрофилактики (контингенты привитых, подлежащих, по любым видам вакцины, по подразделениям ЛПУ и т. п.; причины непривитости; причины отказов, число лиц, требующих индивидуального графика прививок, число детей с реакциями на вакцинацию и любые другие данные); создание единой сети, а следовательно, информационной базы в регионе и в дальнейшем в целом по стране; преемственность данных между любыми ЛПУ (детскими, взрослыми и пр.).

Программный комплекс (ПК) «Управление иммунизацией» (УИ) представляет собой организационно-технический комплекс сбора и обработки информации по вакцинопрофилактике в системе Федерального медико-биологического агентства (ФМБА) и в практическом здравоохранении России, созданный на основе интеграции новейших математических и информационных технологий в интересах решения задач стратегического анализа ситуаций.

При создании ПК УИ учтены следующие основные ограничения:

- необходимость встраивания ПК УИ в сложившуюся строго регламентированную государственную систему вакцинопрофилактики ФМБА;
- относительную ограниченность выделяемых материальных, финансовых и других видов ресурсов.

Вышеизложенное предопределило следующие два базовых принципа создания ПК УИ как информационной системы нового поколения:

- многоуровневый подход к синтезу архитектуры и профилей ПК и формализации процессов ее функционирования;
- создание ПК как синтаксически вариантной информационной системы, вариантность которой реализуется на основе метауправления в виде совокупности процессов формирования и обработки ряда компонентов метаинформации.

Применение многоуровневого подхода к синтезу архитектуры и профилей ПК и формализации процессов ее функционирования дало следующие результаты:

- декомпозиция процессов функционирования ПК;
- потенциальный состав пользователей ПК и распределение их возможностей и обязанностей с позиций участия в функционировании ПК;

– многоступенчатый характер хранения и обработки предметных сведений;

– функциональная, организационная и техническая структуры, а также архитектура ПК.

Синтаксическая вариантность ПК неформально означает независимость программного кода функциональных приложений от содержания обрабатываемых данных с одновременной возможностью изменения состава хранимых данных, множества доступных элементарных операций и динамического задания на этом множестве необходимых алгоритмов обработки.

Осуществление синтаксической вариантности естественным образом приводит к разделению информации в ПК на метаинформацию и объектную информацию, а также к использованию метода метауправления, в соответствии с которым метаинформация является управляющей по отношению к процессам хранения и обработки объектной информации.

Роль метаинформации сводится к описанию синтаксиса и аксиом ПК как формальной системы в терминах пользователя. Семантика этих описаний реализуется посредством множества ассоциативных процедур, а процесс решения задачи представляет собой алгоритмическое доказательство теоремы, фиксирующей выбранную методику решения задачи в рамках имеющихся синтаксиса и аксиом системы, с интерпретацией этой теоремы на множестве значений хранимых в информационной базе сведений и алгоритмах аналитической обработки.

Такой способ построения ПК позволяет ее модифицировать и модернизировать непосредственно в процессе эксплуатации, обеспечивая высокую адаптируемость системы. Это очень важный момент, поскольку как сама предметная область, так и нормативные документы, регламентирующие процессы вакцинопрофилактики населения, быстро меняются, а рутинные методы разработки программных комплексов, требующие сложных процессов отладки при любых изменениях, не позволяют до 2–3 раз в год безболезненно переходить на новые версии.

К важнейшим особенностям ПК УИ относятся ее распределенность, иерархическое построение и функциональная разнородность. Основными уровнями ПК составляют элементы системы, развернутые в ЛПУ. Для решения задач сбора, интеграции, анализа отчетной информации в системе ФМБА развертываются аналитические элементы системы, осуществляющие указанные процессы по терри-

ториальному признаку. В свою очередь, аналитические элементы также могут образовывать иерархию, т. е. осуществлять иерархически организованные процессы аналитической поддержки анализа деятельности по вакцинопрофилактике.

В то же время, возможно локальное развертывание ПК УИ – в рамках только одного ЛПУ.

Любой элемент ПК УИ может представлять собой один (единый) компьютер, на котором установлены все компоненты элемента системы, или множество компьютеров, объединенных в локальную вычислительную сеть (ЛВС) соответствующего подразделения учреждения или всего учреждения в целом. В сетевом варианте один компьютер назначается главным (ведущим) – на нем могут решаться все задачи комплекса, а на остальных (дополнительных) компьютерах решается только ограниченная группа задач.

В соответствии со своим целевым назначением ПК УИ обеспечивает автоматизированное решение следующих задач:

- учет и планирование прививок и проб;
- формирование регулярной отчетной документации, определяемой приказами и инструкциями;
- формирование специфической отчетной документации на основе формализованных запросов от верхних звеньев управления;
- организация информационного обмена с подчиненными и вышестоящими учреждениями;
- ведение и обслуживание архивов отчетных документов и прививочных карт;
- организация обмена прививочными картами пациентов между ЛПУ;
- формирование запросов к информационной базе и выполнение ряда действий с выборками сведений об обслуживаемом контингенте;
- формирование определяемых пользователем отчетно-аналитических документов;
- предоставление врачу-иммунологу справочной информации по вакцинопрофилактике;
- ведение ежедневных планов работы;
- ведение справочников и классификаторов, определяющих особенности структуры учреждения и обслуживаемой территории.

Таким образом, интеграция медицинской информации в сфере вакцинопрофилактики представляет собой совокупность процессов объединения и обобщение сведений, характеризующих состояние (деятельность) компонентов системы вакцинопрофилактики при замене множества отдельных сущностей единой сущностью интегрального свойства (например, участок, район, город и т. д.).

Особенности проблемы обеспечения информационной безопасности ПК вытекают из специфики ее реализации и использования:

1. Традиционная проблема угроз (атак) со стороны Интернета в ПК менее актуальна, чем в открытых корпоративных информационных системах (ИС). Это связано с тем, что основное содержание входного потока информации составляют сведения фактографического и документального характера.

2. Непосредственное проникновение с целью хищения информации или ее разрушения может осуществляться с одной из рабочих станций ПК. Безопасность должна обеспечиваться предотвращением возможности несанкционированного доступа (НСД) к рабочим местам ПК для посторонних лиц, а также традиционными техническими и программными средствами персонифицированной защиты автоматизированного рабочего места (АРМ) от НСД (системы аутентификации и т. п.). Программное обеспечение ПК имеет защиту от несанкционированного копирования с помощью электронных ключей защиты, подключаемых к параллельному порту компьютера.

3. Информация, полученная экспертами в результате функционирования ПК в системе ФМБА, как правило, конфиденциальная. При необходимости передачи такой информации с использованием средств телекоммуникации должны использоваться средства криптозащиты.

4. В случае сопряжения ЛВС ПК с другими вычислительными сетями должны использоваться соответствующие межсетевые экраны.

5. С точки зрения непреднамеренных (технических) сбоев системы наиболее существенной потерей может стать потеря информации. В связи с этим в ПК УИ поддерживаются операции резервного копирования баз данных и их восстановления, а также восстановления целостности базы данных после сбоев.

6. Проблемы антивирусной защиты решаются средствами и способами, аналогичными соответствующей защите корпоративных информационных систем.

Таким образом, для ПК УИ характерны:

- распределенность и иерархичность структуры;
- наличие элементов двух типов, между которыми осуществляется (по иерархии) одностороннее информационное взаимодействие посредством пересылки отчетно-аналитических документов установленной формы;

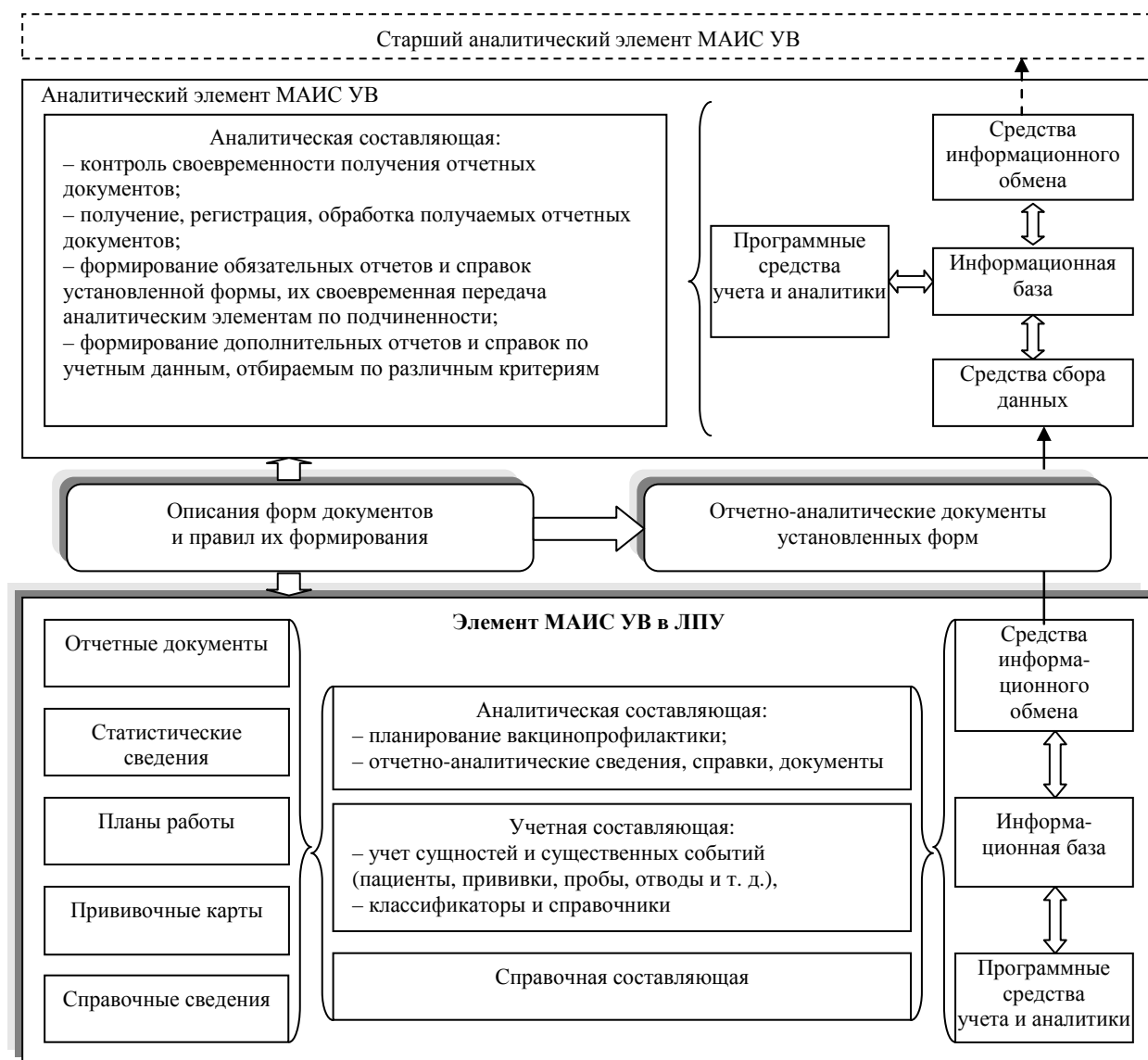


Рис. 2

– сочетание учетной и аналитической составляющих, различающихся по своему содержанию для элементов различных типов;

– наличие средств автоматизированной поддержки планирования для элементов уровня ЛПУ;

– наличие возможности получения отчетов как установленной формы, так и определяемых пользователем;

– наличие решений и средств обеспечения требуемого уровня информационной безопасности, устойчивости функционирования.

Основные элементы построения на основе ПК УИ медицинской аналитической информационной системы (МАИС) «Управления вакцинопрофилактикой» приведены на рис. 2.

В заключение хотелось бы отметить огромный вклад в развитие биотехнических систем В. М. Ахутина. В. М. Ахутин – крупнейший уче-

ный в области автоматизации диагностики и прогнозирования состояния больших сложных систем и синтеза адаптивных систем автоматического управления высокой помехоустойчивости. Он провел фундаментальные исследования по распространению электромагнитных полей оптического диапазона в дисперсных средах, предложил и теоретически обосновал методы анализа их состояния в отсутствие и при наличии возмущений, разработал теорию подавления естественных диффузных и искусственно создаваемых помех, что положило начало созданию принципиально новых адаптивных систем автоматического управления для подводных динамических объектов высокой помехоустойчивости. За эти работы, признанные пионерскими, в 1959 г. ему, одному из первых в стране, была присуждена Ленинская премия.

В. М. Ахутин заложил основы нового научного направления – теории биотехнических систем, в которых биологические элементы и системы различной сложности адекватно сопрягаются с техническими устройствами. Благодаря разработанным им лично и представителями его школы математическим методам текущей диагностики и прогнозирования состояний живого организма на базе автоматической обработки информации с биообъекта в реальном масштабе времени были решены практические задачи создания уникальных систем автоматического контроля и управления состоянием человека в экстремальных условиях глубоководных длительных погружений, подготовки и осуществления выхода космонавтов в свободное космическое пространство. Эти автоматизированные комплексы, диагностические системы для реанимации, а также биотехнические

комплексы для длительного хранения изолированных функционирующих органов не имеют аналогов в России и за рубежом.

Особенно продуктивным оказался предложенный В. М. Ахутиным метод поэтапного моделирования для оптимизации автоматизированных систем с человеком-оператором. Принципиально новый подход к синтезу биотехнических систем эргатического типа позволил адекватно сопрягать управляемые системы с сенсорными и моторными органами человека. Под его руководством разработана автоматизированная система раннего выявления отклонений в здоровье детей от 3 до 15 лет по 25 профилям патологии с выработкой заключения о состоянии здоровья и рекомендаций по дообследованию. За цикл работ в этом направлении в 1991 г. ему присуждена Государственная премия СМ СССР.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Шаповалов В. В. Источник полихромного излучения с управляемым спектром для медицинских фотометров // Материалы междунар. конф. «Стратегия развития мегаполиса». М., 2013. С. 363–370.

2. Шаповалов В. В. Нечеткий метод построения решающих правил в системах скринирующей диагностики // Мед. радиоэлектроника. 2013. № 1. С. 64–66.

3. Шаповалов В. В., Копылов Д. С., Шерстюк Ю. М. Комплексный анализ данных диспансеризации населения региона // Мед. техника. 2014. № 2. С. 27–29.

4. Шаповалов В. В., Копылов Д. С., Каркашадзе Г. А. Применение компьютеризированных методов количественной оценки психомоторной деятельности в скрининге когнитивных нарушений у детей школьного возраста // Сб. материалов 6-го Всерос. конгресса с междунар. участием по школьной и университетской медицине. СПб., 2014. С. 140–142.

5. Kopylov D. S., Shapovalov V. V. Features of construction and filling data marts automated health screening schoolchildren content databases clinic inspections // X Russian-germ. conf. on biomed. engin. Saint Petersburg, 25–27 June 2014, St. Petersburg, 2014. P. 82–83.

V. V. Shapovalov, E. A. Semenova

Saint Petersburg Electrotechnical University «LETI»

AUTOMATED DIAGNOSTIC SCREENING SYSTEMS

Presents review of medical automated diagnostic screening systems including its basic structure and the vaccination control in a medical facility. The basic elements of medical analytical information system «Management of vaccination prevention» are also given.

Automated systems, screening diagnostics, software, vaccination
