

УДК 681.51:658.012.011.56

И.Э. Том

## ОТ ЭРГОНОМИКИ БИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ К БИОИНФОРМАТИКЕ

*Рассматриваются постановки задач и методы их решения, разработанные специалистами лаборатории биоинформатики ОИПИ НАН Беларуси в рамках следующих направлений исследований: качественное измерение и агрегирование разнородной информации в задачах выбора, автоматизация эргономического проектирования и испытаний кабин автотранспортных средств. Формулируются основные научные результаты, полученные автором и его коллегами за последние десять лет.*

### Введение

Активные работы в области эргономического обеспечения биотехнических систем, или, как их еще называют, систем человек–машина–среда (СЧМС), в Беларуси (тогда еще республике в составе СССР) начались в начале 1980-х гг. Имевшийся к тому времени опыт таких известных в мире специалистов в области изучения человеческого фактора, как Мейстер, Рабидо, Чапанис [1–4] и др., а также издание монографий по этой тематике [5–9 и др.] способствовали становлению и укреплению позиций нового научного направления и в Беларуси. Объективной причиной успешного становления эргономики в нашей стране как научного направления стал тот факт, что в практике проектирования сложных систем с человеком-оператором в контуре управления созрело понимание необходимости учета специфики человеческого фактора при создании эффективно работающих систем. Это привело к изменению общей идеологии проектирования систем, имеющих в своем составе человека-оператора. Ранее большинство специалистов придерживалось так называемого технико-человеческого подхода, при котором первичными считаются технические компоненты системы, а человеку отводится роль второстепенного звена, вынужденного приспособляться, адаптироваться к возможностям техники. Осознание неэффективности такого подхода привело к усвоению равнокомпонентного, а затем и антропоцентрического подходов. Последний предполагает, что для СЧМС, характеризующихся динамикой целеполагания, первичным является деятельность человека-оператора, а технические и программные компоненты системы, даже обладающие элементами искусственного интеллекта, выступают в роли средств труда человека. Последнее обстоятельство значительно укрепило позиции специалистов в области инженерной психологии, эргономики, человеческого фактора. Потребность практиков в новых знаниях о человеке, о закономерностях трудовой деятельности, о поведении человека в коллективе и других специфических психофизиологических и антропометрических особенностях человека способствовала развитию эргономики как важного научного направления исследований в нашей стране. Предметом эргономики как науки является изучение системных закономерностей взаимодействия человека с техническими средствами, предметом трудовой деятельности и средой в процессе достижения цели деятельности. Задачами эргономики как прикладной дисциплины является проектирование и совершенствование процессов (способов, алгоритмов) деятельности человека, а также тех характеристик средств и условий труда, которые непосредственно влияют на параметры деятельности и состояния человека в интересах повышения эффективности труда, сохранения здоровья и развития личности работающего.

Исторически сложилось, что основные работы по развитию эргономических исследований в Беларуси велись в Минском филиале Всесоюзного научно-исследовательского института технической эстетики, ЦКБ «Стандарт» и лаборатории эргатических систем Института технической кибернетики АН Беларуси (заведующий лабораторией доктор технических наук, профессор Г.Г. Маньшин).

Из всего многообразия эргономических задач, которыми занимались автор и его коллеги в 1980-е гг. и результаты которых отражены в многочисленных публикациях [10–19 и др.], к середине 1990-х гг. главными были следующие:

- качественное измерение и агрегирование разнородной информации в задачах выбора;

- автоматизация эргономического проектирования и испытаний кабин автотранспортных средств.

Далее рассматриваются отдельные постановки задач и методы их решения, которые разрабатывались начиная с 1994 г. в рамках указанных направлений исследований, а также формулируются основные научно-практические результаты, полученные автором и сотрудниками лаборатории биоинформатики за последние несколько лет.

### **1. Качественное измерение и агрегирование информации в задачах выбора**

При решении многих прикладных задач, в том числе и эргономических, часто приходится сталкиваться с необходимостью принимать ответственные решения на начальных этапах проектирования в условиях неопределенности или недостаточности информации. Естественным является желание формализовать процесс принятия решений, т. е. применить результаты, которые получены в теории многокритериального принятия решений, активно развивающейся с 1970-х гг. благодаря основополагающим работам Кини, Райфа [20, 21] и др. Это особенно актуально, когда необходимо осуществить выбор некоторого наилучшего объекта из ограниченного множества альтернативных, которые характеризуются большим числом разнородных показателей. Таковы были исходные посылки для создания метода качественного измерения и агрегирования информации в задачах выбора. Базовые положения этого метода разработаны в [22–25], и суть их сводится к следующему:

1. В условиях, когда отсутствует математическая модель объекта в задачах выбора, совокупность качественных и количественных свойств объекта считается качественной моделью объекта.

2. Ранжирование множества объектов осуществляется по совокупности свойств, характеризующихся соответствующими показателями. Показатели используются для вынесения оценочных суждений об объекте, т. е. являются критериями оценки объектов.

3. При наличии большого числа критериев, когда выбор лучших объектов становится затруднительным из-за возникновения противоречий между критериями (некоторые объекты могут быть лучше по одним критериям, но хуже по другим), необходимо доопределение задачи выбора за счет привлечения дополнительной экспертной информации об объектах и их показателях или некоторых дополнительных предположений, устанавливающих способ оценивания объектов.

4. Ранжирование множества объектов осуществляется с использованием обобщенного оценочного критерия, построенного на совокупности присущих объектам свойств, с применением для оценки критериев математического аппарата теорий измерения, квалиметрии и нечетких множеств.

5. Систематизация номенклатуры показателей осуществляется в виде дерева, корень которого рассматривается как обобщенный критерий, интегральное свойство качества объекта. Комплексными показателями являются порождающие узлы дерева, а единичными – конечные узлы. По единичным показателям производится оценка объекта, структура же дерева выступает в качестве системообразующего фактора при определении степени относительной важности показателей. Назначение комплексных показателей – систематизировать показатели по типам, функциональным признакам объекта и пр.

6. Ранжирование объектов, оцениваемых по древовидной структуре разнородных показателей, осуществляется по введенной авторами шкале «уровня качества», в которой представляются значения (количественные и качественные) оцениваемых показателей, получают оценки обобщенного показателя и, следовательно, ранжирование объектов.

Ключевым положением метода являются теоретически обоснованное и формализованное построение универсальной шкалы «уровень качества показателя» и выполнение оценки качественных и количественных показателей с последующим ранжированием на ней же объектов, из которых осуществляется выбор. Следует отметить, что проблема приведения разнородных показателей к единой шкале является общей для большинства методов многокритериального выбора. При решении практических задач многокритериального выбора оценочные критерии почти всегда разнородные. В большинстве методов многокритериального выбора процедуры приведения количественных показателей к единичному интервалу на некоторой безразмерной шкале сводятся к нормированию, а для качественных критериев исполь-

зуются балльные или лингвистические оценки, которым ставится в соответствие некоторое число из единичного интервала. Однако эти процедуры приведения не снимают проблему несоответствия количественных оценок и суждений эксперта. Особенностью же подхода к построению универсальной шкалы, впервые предложенного в [23] и позже развитого в работах О.В. Красько [26–31], является то, что удалось найти такие нелинейные преобразования качественных и количественных показателей в единичный интервал, которые сохраняли семантику высказываний эксперта и не искажали точность оценок количественных показателей. Формальная постановка задачи формулируется в следующем виде [31]: если существует разбиение  $D = \{D_i = (d_{i-1}, d_i) \subseteq [0, 1], i = 1, \dots, n\}$  единичного интервала, такое, что  $d_0 = 0$ ,

$d_n = 1$ ,  $d_0 \leq d_1 \leq \dots \leq d_n$ ,  $\bigcup_{i=1}^n D_i = [0, 1]$ ,  $\forall i, j, i \neq j \quad D_i \cap D_j = \emptyset$ , и для которого

$Q(D_i) = \text{const}$ , где  $Q(D_i)$  – суждение эксперта об интервале  $D_i$ , то необходимо найти преобразование  $\Phi: L \rightarrow [0, 1]$  из лингвистической шкалы  $L$  и  $Z: K \rightarrow [0, 1]$  из количественной шкалы  $K$  в единичный интервал, которые бы обеспечивали адекватность суждений эксперта в исходной шкале и единичном интервале.

Математические особенности решения сформулированной задачи подробно изложены в [31], здесь же ограничимся формулировкой требований для построения шкалы уровня качества показателя на интервале  $[0, 1]$  для обработки экспертных суждений, которые полностью согласуются с положениями теории измерений:

1. Уровень качества показателя является монотонной непрерывной функцией от значений показателя, измеренного в соответствующей шкале  $z = f(x)$ .

2. В общем случае функция  $z = f(x)$  нелинейная, т. е. увеличение в несколько раз (на несколько единиц) значения критерия, имеющего собственную физическую шкалу измерения, не приводит к увеличению (или уменьшению) значения уровня качества в несколько раз (или на несколько условных единиц). Однако отношение порядка должно быть сохранено, т. е. если  $x_1 < x_2$ , то  $f(x_1) < f(x_2)$ .

3. Вид функции определяется исходя из мнения эксперта, который имеет свое представление об отображении значений показателя, измеренного в исходной шкале, во множество значений  $Z = \{z_i, i = 1, \dots, n\}$ .

4. Тип шкалы, в которой измеряется уровень качества показателя, определяется типом шкалы, в которой измеряются значения показателя, и видом функции преобразования  $z = f(x)$ .

5. Для количественных показателей, имеющих собственную физическую шкалу измерений, при увеличении (уменьшении) их значений значения функции асимптотически стремятся к некоторому граничному значению, отражающему суждение эксперта об уровне качества показателя (абсолютная выраженность свойства или полное отсутствие свойства), характеризующего объект.

6. Для качественных показателей предельные значения шкалы ( $\inf(X)$ ,  $\sup(X)$ ) должны отображаться в асимптотические значения функции  $z = f(x)$ .

7. Если эксперт не может точно определить вид функции  $z = f(x)$ , то в любом случае он может задать несколько опорных точек, т. е. поставить в соответствие некоторым значениям из  $X$  значения уровня качества критерия из  $Z$ . В этом случае функция  $z = f(x)$  по опорным точкам аппроксимирует суждение эксперта об уровне качества критерия на всей области определения  $X = \{x_i, i = 1, \dots, n\}$ .

Совокупность приведенных выше требований в соответствии с теорией измерений описывает шкалу уровня качества показателя как множество рациональных чисел из единичного интервала  $[0, 1]$ , т. е.  $Z \subseteq \mathbb{R}$ .

Учитывая широкую распространенность на практике задач принятия решения на основе учета совокупности количественных и качественных критериев, можно сделать вывод об универсальности разработанного метода качественного измерения и агрегирования информации в задачах выбора. Подтверждением этого являются примеры использования основных положений метода для решения прикладных задач из различных областей. В частности, при создании по заказу Минского автомобильного завода программной системы «Экспертиза» для оценки эргономичности кабин транспортных средств были использованы основные положения метода, которые позволяют выполнять эргономическую оценку кабин автомобилей на основе анализа эргономических параметров из базы данных, содержащей более 1 200 комплексных и единичных показателей эргономичности кабин. Важным применением разработанного метода является его использование при создании программного комплекса «Тендер», предназначенного для поддержки принятия решений при проведении тендеров и закупок. Первая версия этого комплекса была разработана в 1997 г. по заказу Министерства связи Республики Беларусь и принята заказчиком для использования в центральном аппарате министерства. Другим примером использования метода агрегирования разнородной информации является программная система «Конкурент», предназначенная для поддержки принятия решений при многокритериальном анализе и выборе перспективных видов продукции и разработанная для НП РУП «Лазеры в экологии, медицине, технологиях».

В настоящее время в лаборатории биоинформатики развитие исследований, связанных с оценкой, анализом и агрегированием разнородной информации, идет в направлении создания медико-ориентированных информационных технологий поддержки принятия решений. Основу таких технологий составляют базы данных и клиентские приложения на основе Интернет/Интранет-технологий, архитектуры клиент – web-сервер – сервер баз данных, а поддержка принятия решений осуществляется с помощью создаваемого комплекса интеллектуальных методов анализа информации с применением методологии нейросетей, деревьев решений, нечеткой логики в сочетании с методами статистического анализа. В рамках выполнения Государственной программы прикладных исследований «Оптика, электроника, информатика» совместно со специалистами Республиканского научно-практического центра детской онкологии и гематологии Министерства здравоохранения Республики Беларусь разрабатывается обобщенная четырехэтапная информационная технологическая схема [32–36] анализа онкогематологических данных, характеризующихся разнородностью шкал измерений, большим числом (свыше 150) клинико-лабораторных и эпидемиологических признаков при объеме обучающей и тестовой выборки, соизмеримой с числом признаков. В настоящее время начато решение научно-практических задач, связанных с выбором адекватной терапии острых форм лейкозов у детей. К числу таких задач можно отнести отбор комбинаций наиболее значимых прогностических факторов риска; оценку динамики прогностической значимости как отдельных факторов, так и их комбинаций на локальном временном отрезке индуктивной терапии; прогнозирование на ранних этапах терапии группы риска конкретного больного на основе его индивидуального профиля прогностических факторов для выбора адекватной интенсивности терапии. Успешное решение указанных задач открывает перспективу индивидуализации индуктивной терапии острых лейкозов, начиная с самых ранних этапов терапии, что должно положительно отразиться как на увеличении выживаемости, так и на повышении качества жизни пациентов после лечения. Последнее обстоятельство является одним из важнейших критериев эффективности терапии в онкогематологии и других областях медицины.

## **2. Автоматизация эргономического проектирования и испытаний кабин автотранспортных средств**

Начало 1990-х гг. ознаменовалось революцией в области компьютеризации, и, как следствие, резко активизировались работы в различных направлениях автоматизации человеческой деятельности, в том числе и в автоматизации проектирования сложных объектов и систем. Если для решения задач технологической подготовки производства машиностроительной продукции, проектирования интегральных схем и некоторых других подобных объектов опыт применения САПР имелся, то для задач эргономического обеспечения биотехнических систем ничего подобного не было. Автоматизация эргономического проектирования рабочего места (РМ) оператора в СЧМС, в частности в транспортных, авиационных, военно-морских и других аналогичных системах, где человек осуще-

ствяет свою деятельность в условиях замкнутого и ограниченного по объему рабочего пространства, была и в значительной мере продолжает оставаться актуальной задачей. Кабина является наиболее типичным образцом такого рода РМ. Именно от качества кабины – ее комфортности и безопасности – в значительной степени зависит конкурентоспособность на рынке системы в целом (трактора, автомобиля, дорожной техники и т. п.). Как правило, в технологии конструирования компоновки кабин в перечисленных видах систем применяется макетирование изделий в натуральную величину. Затем осуществляются испытания макета с привлечением или реальных операторов, или антропоморфных физических манекенов. По результатам испытаний осуществляется доводка изделия. При создании первоначального эскиза компоновки конструктор в состоянии учесть лишь основные усредненные размеры тела, основные требования по безопасности размещения человека-оператора в кабине, типовые решения. Практика конструирования и изготовления кабин показывает, что такой технологический процесс слишком длительный и дорогостоящий. Единственным выходом из положения является автоматизация процесса проектирования и проведение виртуальных испытаний кабин на эргономичность. В данном случае под эргономичностью понимается удовлетворение требованиям визуального и моторного комфорта оператора, его безопасность в процессе трудовой деятельности.

В 1994 г. была опубликована статья [37], где впервые формально ставилась оптимизационная задача эргономического проектирования пространственной компоновки РМ человека-оператора, в частности кабин автотранспортных средств. В значительной мере теоретические положения метода пространственной компоновки РМ, которые в тот период прорабатывались, опирались на результаты, изложенные в диссертации автора настоящей статьи и в книге [16]. Новыми являлись как сама формальная постановка оптимизационной задачи пространственной компоновки, так и обоснование целесообразности перехода к интерактивному автоматизированному эргономическому проектированию компоновки РМ на основе виртуальной трехмерной параметрической модели манекена.

Задача оптимизации компоновки РМ относится к классу задач геометрического моделирования, поэтому элементы РМ рассматриваются как множество геометрических объектов, которые следует скомпоновать в заданной области (в пределах кабины) таким образом, чтобы достигался экстремум некоторого целевого функционала. Была предложена следующая содержательная постановка оптимизационной задачи пространственной компоновки элементов рабочего места [37]: имеется множество  $Q = \{Q_i, i=1, \dots, n\}$  трехмерных геометрических объектов (элементов РМ) типа прямоугольного параллелепипеда и область размещения  $\Omega \subset R^3$ . Между парами объектов  $Q_i$  и  $Q_j$  определены (или заданы) рациональные расстояния  $R_{ij}$  в виде нечетких чисел, заданных отрезками  $\underline{R}_{ij} \leq R_{ij} \leq \overline{R}_{ij}$  действительной положительной полуоси  $R_+^1$  с функциями принадлежности  $\mu_{R_{ij}} : R_+^1 \rightarrow [0, 1]$ . Для каждого объекта  $Q_i$  задана (или определена алгоритмически) допустимая, не обязательно четкая, область (или ряд областей) размещения  $\Omega_i \subset \Omega$  с функцией принадлежности  $\mu_{\Omega_i} : R^3 \rightarrow [0, 1]$  для случая нечеткого задания области  $\Omega_i$ . Необходимо так разместить элементы  $Q_i$  в областях  $\Omega_i \subset \Omega$  ( $i = \overline{1, n}$ ), чтобы критерий оптимальности  $F = F(\pi_i)$ , являющийся функцией компоновки  $\pi_i \in \Pi = \{\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_i\}$ , достигал своего экстремума при одновременном выполнении ряда ограничений:  $\mu_{R_{ij}}(r_{ij}) > 0$  ( $i, j = \overline{1, n}$ ) и  $\mu_{\Omega_i}(Q_i) > 0$  ( $\dots i = \overline{1, n}$ ). Допущение о представлении  $Q_i$  и  $\Omega_i$  в виде прямоугольных параллелепипедов, причем у  $Q_i$  одна из граней считается лицевой, является «платой» за возможность корректной с математической точки зрения постановки задачи.

Содержательная постановка задачи была сначала формализована в терминах нечеткого математического программирования, а затем сведена к четкой задаче математического программирования с ограничениями типа неравенств. В качестве целевой функции  $F = F(\pi_i)$  использовалась композиция аддитивной функции полезности  $U(\pi_i)$ , отражающей полезность выбора компоновок:

$\pi_s \in \pi$ ,  $U: \pi_s \rightarrow [0, 1]$ , и трех штрафных функций для формализации ограничений на размещения. Целевая функция  $F(\pi_i)$  из-за несогласованности экстремумов функции полезности и штрафных функций не может быть отнесена к классу функций, для которых хорошо разработаны методы определения глобального оптимума. Поэтому в качестве метода оптимизации было принято последовательное использование методов Розенброка и Гаусса-Зейделя как наиболее стабильных и апробированных. К сожалению, и их применение выдавало в качестве оптимальных компоновки, которые могли быть улучшены специалистами в области эргономики РМ, т. е. находились только локальные оптимумы, а глобального оптимума достигнуть не удалось. Поэтому можно говорить лишь о частичном решении сформулированной оптимизационной задачи. Было принято решение сконцентрировать усилия на интерактивном поиске рациональных компоновочных решений РМ  $\Omega_i \subseteq \Omega \subset R^3$  ( $i = \overline{1, n}$ ) и в первую очередь на геометрическом моделировании допустимых областей пространства РМ, в пределах которых и должно осуществляться размещение тех или иных типов элементов РМ – различных средств отображения информации (СОИ) и органов управления (ОУ). Несмотря на то, что имеется достаточное число стандартов и справочников, в которых приводятся геометрические размеры зон оптимальной и максимальной досягаемости, зон видимости в вертикальной и горизонтальной плоскостях, следует сказать, что в этих данных, во-первых, имеются расхождения [38], а во-вторых, некоторые из них устарели, так как антропометрия человека как биологической особи претерпевает изменения. Кроме того, не все справочные документы учитывают антропометрические признаки человека (пол, расу, возраст), а также условия деятельности человека в конкретных СЧМС.

Исходя из сказанного, а также из того, что местоположение в пространстве и геометрические размеры областей зависят от антропометрических параметров соответствующего контингента людей, была разработана пространственная 24-сегментная модель человеческого тела [37, 39–42]. Такая модель является параметрической, т. е. учитывает основные антропометрические признаки человека, основные биомеханические параметры суставных сочленений тела и может настраиваться на индивидуальные антропометрические параметры того или иного человека. Как и ожидалось, эта модель оказалась эффективным инструментом для интерактивного проектирования рациональной компоновки РМ оператора, суть которой состоит в том [42–47], что проектировщик или улучшает компоновку после применения рассмотренного выше оптимизационного метода компоновки РМ, или самостоятельно создает на экране компьютера средствами универсальных САД-систем некоторый базовый вариант компоновки РМ. Затем в полученное 3D изображение РМ вводится 3D модель манекена и проводятся эргономические испытания РМ по соответствующим расчетным методикам. При таком подходе оценка комфортности разрабатываемого проекта РМ осуществляется задолго до его воплощения в материале по следующим эргономическим критериям: обзорности внутреннего и внекабинного пространства; наличию непросматриваемых зон; степени досягаемости ОУ с учетом минимальных, оптимальных и предельных углов в суставных сочленениях оператора (манекена); возможности получения травм от столкновения с элементами конструкции кабины. Автор и сотрудники лаборатории биоинформатики – активные сторонники подобной технологии эргономического проектирования и виртуальных испытаний на эргономичность различных классов СЧМС, в частности транспортных средств, и стараются привнести ее в практику отечественного автомобилестроения [37–49]. Свидетельством этому являются созданные сотрудниками лаборатории и внедренные на Минском автомобильном заводе программные системы «СВМАН» (1995), «Манекен v.2.0» (2000), «Манекен-Alias» (2002), развивающие идеи автоматизации эргономического проектирования и виртуальных эргономических испытаний.

Успешная реализация прикладных эргономических задач невозможна без решения соответствующих задач научного характера. Ниже сформулированы основные научные результаты, полученные сотрудниками лаборатории биоинформатики за последние пять лет в области моделирования двигательного поведения виртуальных антропоморфных объектов.

1. Разработан метод [37, 38, 43, 47] автоматизированного эргономического проектирования и испытаний сложноорганизованных рабочих мест в транспортных системах на базе компьютерной модели пространственного манекена, реализующий антропометрическую концепцию проектирования биотехнических систем.

2. Предложена адекватная практическим задачам эргономического анализа и проектирования формальная модель конечности антропоморфного объекта в виде множества параметров взаимодействия сегментов, составляющих конечность. Разработан алгоритм расчета и выбора финишных положений конечностей манекена человека при анимации, соответствующих оптимуму целевого функционала, параметрами которого являются углы в шарнирных сочленениях [49].

3. Разработана структурная иерархическая модель тела человека и алгоритм ее позиционирования на основе инверсной кинематики, а также метод решения задачи инверсной кинематики с использованием алгоритмов нелинейного программирования. Разработаны модель и алгоритмы генерации пространственного параметрического манекена по основным антропометрическим признакам и 32 антропометрическим параметрам.

4. Предложена аналитическая модель пространственной оболочки зоны предельной досягаемости для соответствующего типа манекена при произвольных положениях различных сегментов манекена [17]. Разработан метод и алгоритмы моделирования обзорности внекабинного пространства с использованием комбинации сферических внешних зеркал.

5. Разработана методика аттестации компьютерного манекена на соответствие основным антропометрическим параметрам посадочного манекена. Выполнены исследования по обеспечению адекватности методов компьютерного моделирования эргономических параметров автотранспортных средств и сравнительный анализ результатов, полученных с помощью компьютерного пространственного манекена и физического стандартизированного манекена, который подтверждает адекватность результатов модельных и натуральных испытаний [38].

6. В рамках концепции интеллектуальных агентов разработаны двухуровневая гибридная модель пространственного движения программных антропоморфных объектов и структурная схема системы моделирования персонифицированных вариантов движения и управления им, отличительной особенностью которых является использование высокоуровневого управления движением антропоморфного объекта на уровне планирования выполнения движений и низкоуровневого управления отдельными движениями на основе сочетания прямых и инверсных динамических методов определения значений углов в сочленениях многозвенной модели антропоморфного агента [50–53]. Предложен алгоритм планирования траектории движения антропоморфного объекта с учетом обхода препятствий, использующий расширение запретного пространства с учетом формы объекта движения.

Комплекс полученных научно-практических результатов создает необходимые предпосылки для разработки универсальной компьютерной системы управления движением виртуальных антропоморфных объектов, позволяющей моделировать их перемещение в пространстве с различными скоростями и по поверхностям с различной геометрией (ступени и т. п.), а также моделировать ряд интеллектуальных поведенческих функций, в частности обход препятствий, взаимодействие с другими виртуальными объектами. Возможными областями приложения систем моделирования сложных движений и интеллектуального поведения антропоморфных объектов в динамических виртуальных средах являются автоматизированные производства с применением мобильных роботов, системы моделирования человеческой деятельности при симуляции процессов сборки, сварки крупногабаритных конструкций, распределенные системы управления, системы моделирования военных действий, игровые имитаторы и др.

## **Заключение**

В статье ставилась цель проследить эволюцию исследований, которые выполнялись сотрудниками лаборатории биоинформатики за последние десять лет, и кратко показать их основные результаты. При этом следует отметить, что первые пять лет затрагивают период, когда нынешнее научно-исследовательское ядро лаборатории биоинформатики работало под руководством доктора технических наук Г.Г. Маньшина.

Опираясь на достигнутые результаты в области эргономики биотехнических систем, сотрудники лаборатории биоинформатики постепенно расширяют предмет своих научных интересов, стараясь оставаться при этом в рамках основных научных направлений лаборатории: исследования человеческого фактора в биотехнических и социотехнических системах и создания информационных технологий поддержки принятия решений в медицине, машиностроении и

других сферах человеческой деятельности. Именно приставка «био» в названии лаборатории биоинформатики определяет, что человек как яркий представитель биологических систем – это объект наших исследований, а предметом исследований являются все более широкий класс информационных моделей и реализующие их информационные технологии, которые отражают различные информационные аспекты человека: геометрию и структуру человеческого тела, модели двигательного поведения, модели агрегирования разнородной информации и принятия решения, медико-биологические параметры человеческого организма.

### Список литературы

1. Meister D., Rabideau G.F. Human Factors Evaluation in System Development. – New York: Wiley & Sons, 1965.
2. Meister D. Human factors: Theory and Practice. – New York: Wiley & Sons, 1971.
3. Мейстер Д. Эргономические основы разработки сложных систем. – М.: Мир, 1979.
4. Chapanis A. Research Techniques in Human Engineering. – Baltimore: Johns Hopkins Press, 1959.
5. McCormick E.J., Sanders M.S. Human Factors in Engineering and Design. – New York: McGraw-Hill, 1982.
6. Siegel A.I., Wolf J.J. Man-Machine Simulation Models: Psychosocial and Performance Interaction. – New York: John Wiley & Sons, 1969.
7. Handbook of human factors. V.1–6 Ed. G. Salvendy. – New York: Wiley & Sons, 1987.
8. Ломов Б.Ф. Человек и техника. – М.: Сов. радио, 1966. – 464 с.
9. Монмоллен М. Системы «человек-машина». – М.: Мир, 1973. – 256 с.
10. Том И.Э. Выбор и оценка показателей надежности СЧМ // Инженерно-психологическое обеспечение разработок систем «человек-машина». – Мн.: Ин-т техн. кибернетики АН БССР, 1981. – С. 39-58.
11. Инженерно-психологические и организационные вопросы надежности и эффективности сложных систем / Г.Г. Маньшин, И.Э. Том, Е.Л. Седова и др. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики АН БССР, 1983. – 155 с.
12. Том И.Э., Красько О.В. Аналитико-статистическая модель оценки дискретной деятельности оператора СЧМ, работающего в условиях временных ограничений // Эргономическое обеспечение автоматизированных систем. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики АН БССР, 1983. – С. 20-26.
13. Том И.Э. Нечеткие множества в постановках задач автоматизированного проектирования систем // Модели выбора альтернатив в нечеткой среде: тез. докл. межреспубл. науч. конф. – Рига, 1984. – С. 165-166.
14. Том И.Э., Ковалева Н.С. Оптимизация размещения групп и элементов информационно-управляющих панелей // Методы и средства обеспечения качества автоматизированных систем. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики АН БССР, 1985. – С. 116-124.
15. Маньшин Г.Г., Том И.Э. Надежность систем «человек-машина». – Мн.: Ин-т техн. кибернетики АН БССР, 1985. – 137 с.
16. Том И.Э., Маньшин Г.Г. Автоматизация эргономического проектирования элементов рабочего места оператора. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики АН БССР, 1986. – 160 с.
17. Том И.Э., Новоселова Н.А. Задача оптимизации пространственной компоновки рабочего места оператора. – Минск, 1988. – 50 с. (Препринт / Ин-т техн. кибернетики АН БССР; № 53).
18. Том И.Э. Оптимальное автоматизированное проектирование рабочего места оператора // Теория и методы автоматизации проектирования сложных систем и автоматизации научных исследований. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики АН БССР, 1990. – С. 91-95.
19. Бурделев В.А., Том И.Э. Применение теории нечетких множеств к анализу и управлению качеством промышленной продукции // Новости искусственного интеллекта. – М., 1991. – С. 60-69.
20. Keeney R.L., Raiffa H. Decisions with multiple objectives: preferences and value trade-offs. – New York: Wiley & Sons, 1976.
21. Fishburn P.C. Utility theory for decision-making. – New York: Wiley & Sons, 1970.



22. Том И.Э., Красько О.В. Использование различных порядковых шкал в квалиметрической экспертизе // Квалиметрии человека и образования: методология и практика: мат. III науч. симп. – М., 1994. – С. 106-109.
23. Том И.Э., Красько О.В. Использование лингвистических шкал в квалиметрической экспертизе // Проблемы человеко-ориентированных информационных технологий. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики АН Беларуси, 1994. – С. 78-90.
24. Том И.Э., Красько О.В. Проблема качественного измерения и агрегирования информации в задачах выбора // Проблемы создания информационных технологий. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики АН Беларуси, 1995. – С. 73-82.
25. Tom I., Krasko O. Use of Linguistic Scales in Qualimetry Examination of Objects // Proceedings «13th European Meeting on Cybernetics and Systems Research». – Vienna, 1996. – P. 65-68.
26. Красько О.В. Вербальные шкалы предпочтений в технологии принятия решений // Автоматизация и современные технологии. – М.: Машиностроение, 2000. – № 5. – С. 30-33.
27. Красько О.В. Операторы агрегирования в нечеткой среде: методологические подходы и их классификация // Автоматика и вычислительная техника. – Рига, 2001. – № 1. – С. 56-68.
28. Красько О.В. Модели агрегирования информации в нечеткой среде // Новые информационные технологии: мат. 4-й Междунар. конф. – Минск, 2000. – Т. III. – С. 204-208.
29. Красько О.В. Нелинейные модели при анализе решений // Знание – Диалог – Решение: сб. докл. IX Междунар. конф. – СПб., 2001. – С. 396-402.
30. Красько О.В. Моделирование процедур тендерной предквалификации // Математические методы и информационные технологии в экономике: Тр. V Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза, 2000. – С. 128-131.
31. Красько О.В. Моделирование процедур тендерного отбора: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. – Мн.: ОИПИ НАН Беларуси, 2003. – 24 с.
32. Технология анализа медицинских данных статистическими и нейросетевыми методами / М.П. Потапнев, Т.А. Углова, И.Э. Том и др. // Искусственный интеллект. – № 2. – 2004. – С. 398-402.
33. Architecture of the information system for prognostic factors analysis in childhood oncology / М.П. Potapnev, I.E. Tom, O.V. Krasko et al. // Наука и компьютерные технологии: сб. докл. 6-го Междунар. семинара МНТЦ. – М., 2003. – С. 372-376.
34. Анализ прогностических факторов риска в детской онкогематологии / И.Э. Том, О.В. Красько, Т.А. Углова, М.П. Потапнев // Математические методы распознавания образов: сб. докл. 11-й Всерос. конф. – Пушкино, 2003. – С. 455-458.
35. Информационная система анализа прогностических факторов риска в детской онкогематологии / О.В. Красько, И.Э. Том, Т.А. Углова, М.П. Потапнев // Информационные технологии и кибернетика на службе здравоохранения: сб. докл. Междунар. дистанц. науч.-практ. конф. – Днепропетровск, 2003. – С. 117-120.
36. Прогностическое значение биологических свойств лейкозных клеток для индукционной терапии острого лимфобластного лейкоза у детей / Т.А. Углова, М.П. Потапнев, О.В. Красько и др. // Актуальные проблемы гематологии и трансфузиологии: сб. докл. 5-го съезда гематологов и трансфузиологов Беларуси. – Мн., 2003. – С. 272-275.
37. Том И.Э., Тарсунов Ю.А. Предварительные результаты работ по созданию программной системы «MAN-EQUIPMENT» // Проблемы человеко-ориентированных информационных технологий: сб. науч. тр. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики АН Беларуси, 1994. – С. 20-41.
38. Том И.Э. Моделирование эргономических параметров с применением компьютерного манекена // Моделирование и информационные технологии проектирования: сб. науч. тр. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 2000. – С. 124-133.
39. Том И.Э., Тарсунов Ю.А. Комплекс для моделирования обзорности кабин в трехмерном пространстве // Теория и методы создания интеллектуальных САПР: тез. докл. Междунар. конф. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики АН Беларуси, 1994. – 79 с.
40. Tom I.E. «MAN-EQUIPMENT» – Software for Ergonomics Design of Man-Machine Systems // Proceeding 10th Int. Conf. On Engineering Design «Design Science for and in Design Practice». – Praha, 1995. – P. 210-211.
41. Tom I.E. The Software for Ergonomics Design of Man-Machine Systems // Proceeding 6th Int. Conf. On Human-Computer Interaction (HCI'95). – Yokohama, 1995. – P. 311.

42. Том И.Э. Автоматизация эргономического проектирования и эргономических испытаний объектов машиностроения (на примере кабин грузовых автомобилей) // Системы автоматизации проектирования в машино- и приборостроении: тр. семинара. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики АН Беларуси, 1995. – С. 15-17.
43. Том И.Э. Автоматизация эргономического проектирования и испытаний транспортных средств на базе компьютерного манекена // Проблемы психологии и эргономики. – М., 1999. – № 2/1. – С. 103-105.
44. Tom I.E., Novoselova N.A. Computer Aided Ergonomics Design for Vehicle Cab // Интерактивные системы: Проблемы человеко-компьютерного взаимодействия: тез. докл. 3-й Междунар. науч.-техн. конф. – Ульяновск, 1999. – 56 с.
45. Том И.Э. Система испытаний и контроля эргономических параметров транспортных средств // Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов: сб. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – Мн.: БГТУ, 2000. – С. 101-104.
46. «Alias-Манекен» – интегрированная среда моделирования эргономических параметров транспортных средств / И.Э. Том, Н.А. Новоселова, В.В. Корсаков, А.Г. Выгонный // Моделирование интеллектуальных процессов проектирования, производства и управления: сб. докл. 3-й Междунар. науч.-техн. конф. – Мн., 2002. – С. 20-22.
47. Создание приложения «Alias-Манекен» – интегрированной среды моделирования эргономики транспортных средств / И.Э. Том, Н.А. Новоселова, В.В. Корсаков, А.Г. Выгонный // Моделирование интеллектуальных процессов проектирования, производства и управления: сб. науч. тр. – Мн.: ОИПИ НАН Беларуси, 2003. – С. 154-161.
48. Том И.Э. Моделирование и управление виртуальными пространственными человекоподобными объектами // Цифровая обработка информации и управление в чрезвычайных ситуациях: сб. докл. Второй Междунар. конф. Т. 2. – Мн.: Ин-т техн. кибернетики НАН Беларуси, 2000. – С. 48-51.
49. Том И.Э., Новоселова Н.А. Оптимизационный алгоритм анимации конечностей для 3D модели манекена // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. – 2001. – № 2. – С. 86-90.
50. Tom I.E. High-Level Control of Virtual Human's Behavior // Proceedings of the Second International Conference on Neural Network and Artificial Intelligence. – Minsk, 2001. – P. 226-228.
51. Том И.Э. От кинематического манекена к антропоморфным интеллектуальным агентам // Проблемы психологии и эргономики. – М., 2001. – № 4. – С. 46-49.
52. Том И.Э. Компьютерные 3D манекены со свойствами программных интеллектуальных агентов // Искусственный интеллект. – М., 2002. – № 2. – С. 555-560.
53. Tom I.E., Novoselova N.A. Two-Level Behavior Control of Virtual Humans // Proceeding NATO «The Role of Humans in Intelligent and Automated Systems». – Warsaw, 2002. – P. 120-129.

Поступила 4.11.04

*Объединенный институт проблем  
информатики НАН Беларуси,  
Минск, Сурганова, 6  
e-mail: tom@newman.bas-net.by*

**I.E. Tom**

## **FROM ERGONOMICS OF BIOTECHNICAL SYSTEMS TO BIOINFORMATICS**

The review of research directions of the Laboratory of Bioinformatics is presented. The main areas of interest are qualitative measurement and information aggregation in decision making, computer aided ergonomic design of vehicle cabs, development of virtual mannequin for vehicle cab testing. The main scientific and applied results obtained in the Laboratory of Bioinformatics within last ten years are briefly reported.