

А.И. МОТИЕНКО, С.М. МАКЕЕВ, О.О. БАСОВ  
**АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫБОРА  
ПОЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПОСТРАДАВШЕГО  
НА ОСНОВЕ БАЙЕСОВСКИХ СЕТЕЙ ДОВЕРИЯ**

---

*Мотиенко А.И., Макеев С.М., Басов О.О.* Анализ и моделирование процесса выбора положения для транспортировки пострадавшего на основе байесовских сетей доверия.

**Аннотация.** Целью любых аварийно-спасательных и других неотложных работ является спасение людей и оказание помощи пострадавшим, локализация аварий и устранение повреждений, препятствующих проведению спасательных работ, а также создание условий для последующего проведения восстановительных работ. При наличии факторов, угрожающих жизни и здоровью проводящих эти работы людей (спасателей, пожарных и др.) возникает объективная необходимость в применении автоматизированных робототехнических средств транспортировки пострадавших, а отсутствие соответствующего научно-методического и программно-алгоритмического инструментария обуславливает необходимость моделирования указанных средств. В работе представлена модель положения для транспортировки пострадавшего на основе байесовских сетей доверия.

**Ключевые слова:** робототехника, аварийно-спасательные роботы, человеко-машинное взаимодействие, транспортировка пострадавших, первая помощь, аварийно-спасательные работы, чрезвычайная ситуация, байесовские сети доверия.

*Motienko A.I., Makeev S.M., Basov O.O.* Analysis and Modeling of the Process of a Choice of Position for Transportation of the Sufferer on the basis of Bayesian Belief Networks.

**Abstract.** The purpose of any rescue and other emergency operations is to rescue of people and assistance to sufferer, localization of accidents and elimination of the damages interfering carrying out rescue efforts, and also creation of conditions for the subsequent carrying out recovery work. In the presence of the factors menacing to life and health of the people who are carrying out these works (rescuers, firefighters, etc.) there is an objective need for application of the automated robotic means of transportation of sufferer, and lack of the corresponding scientific and methodical and program and algorithmic tools causes need of modeling of the specified means. A model of position for transportation of the sufferer on the basis of Bayesian belief networks is presented in the paper.

**Keywords:** robotics, search-and-rescue, human-machine interaction, transportation of the sufferer, first aid, rescue work, emergency, Bayes belief network.

---

**1. Введение.** Согласно данным мировой статистики (начиная со второй половины XX века) первое место в перечне причин смерти трудоспособного населения в возрасте до 45 лет занимают травмы. В свою очередь, на втором месте (после дорожно-транспортных происшествий) среди причин такой смертности находятся стихийные бедствия и пожары. Среди стихийных бедствий в России наибольшее число людских потерь характерно для чрезвычайных ситуаций, связанных с наводнениями и землетрясениями. В пожарах в нашей стране ежегодно погибает 13-15 тысяч человек. Проведение аварийно-спасательных и других неотложных работ, направленных на

ликвидацию чрезвычайных ситуаций, является одной из основных задач Российской единой Системы предотвращения чрезвычайных ситуаций и Гражданской обороны [1].

Целью любых аварийно-спасательных и других неотложных работ является спасение людей и оказание помощи пострадавшим, локализация аварий и устранение повреждений, препятствующих проведению спасательных работ, а также создание условий для последующего проведения восстановительных работ. По данным Всемирной организации здравоохранения около 85 % среди погибших от травм умирают вследствие не оказанной, оказанной несвоевременно или неправильно первой помощи на месте чрезвычайной ситуации (и только 15 % погибают от несовместимых с жизнью повреждений) [2].

В соответствии с действующими нормативными документами при возникновении чрезвычайных ситуаций создаются временный штаб по ликвидации и предварительный план мероприятий. Последний включает себя:

а) предварительную разведку маршрутов движения формирований и участков предстоящих работ и уточнение ситуации в районе чрезвычайной ситуации;

б) дальнейшую наземную разведку, прокладку колонных путей и устройство проездов (проходов) в завалах и на заражённых участках, а также локализацию и тушение пожаров на путях движения формирований и участках работ;

в) локализацию аварий на коммунально-энергетических и технологических сетях;

г) розыск пострадавших и извлечение их из под завалов, повреждённых и горящих зданий, загазованных, задымлённых и затопленных помещений, санитарная обработка людей, обеззараживание их одежды, территории, сооружений, техники, воды и продовольствия;

е) оказание первой помощи пострадавшим и транспортировка их в лечебные учреждения.

Аварийно-спасательные работы характеризуются наличием факторов, угрожающих жизни и здоровью проводящих эти работы людей (спасателей, пожарных и др.), и требуют специальной подготовки, экипировки и оснащения. Свести к минимуму степень риска для спасателей позволяет использование так называемых безлюдных технологий – автоматизированных робототехнических комплексов и средств [3].

Рынок робототехники в России существует и развивается уже более 10 лет. Современные разработки применяются в разных

областях: от социально-бытовой до военно-технической, как в штатных ситуациях, так и в экстремальных. Робототехническое оборудование используется при проведении аварийно-спасательных работ, в медицине, в ходе боевых действий и антитеррористических операций, разведки, охраны, разминирования и пр., обеспечивая высокую эффективность проводимых работ и максимальную безопасность здоровью и жизни человека.

Последняя задача (по п. е)) во многом сложнее предыдущих. Автоматизированные робототехнические средства должны обеспечить выполнение мероприятий по оказанию первой помощи [4] и непосредственно транспортировку пострадавшего. Однако, для определения признаков жизни (наличия сознания) и осмотра пострадавшего требуется наличие у робототехнических средств соответствующих датчиков (температуры, давления, влажности) и систем (компьютерного зрения, анализа и синтеза речи для опроса пострадавшего и др.), номенклатура и конфигурация которых должна определяться с учетом массогабаритных и энергетических характеристик робота. Для определения оптимального положения тела пострадавшего необходим соответствующий научно-методический инструментарий, позволяющий определить его в условиях неполных данных относительно признаков травм, состояния пострадавшего и симптомов заболевания.

Таким образом, в описанной предметной области, с одной стороны, наблюдается объективная необходимость в применении автоматизированных робототехнических средств, с другой – отсутствие соответствующего научно-методического аппарата и программно-алгоритмических решений для обеспечения возможности транспортировки пострадавших. Поэтому целью данного исследования является анализ и моделирование процесса выбора положения для транспортировки.

**2. Обзор методов формализации процесса выбора положения для транспортировки пострадавшего.** Указанный процесс является трудноформализуемым, при разработке модели могут быть использованы: деревья решений, метод анализа иерархий, продукционная модель представления знаний, нечеткие когнитивные модели, нейронные сети, байесовский вывод, а также байесовские сети доверия (БСД).

Недостатком *метода деревьев решений* является то, что они хорошо подходят для задач с небольшим числом возможных результатов, но неприменимы к наборам данных, где число возможных исходов достаточно велико [5]. *Метод анализа иерархий* основан на критерии отбора экспертов, поэтому нуждается в использовании дополнительных процедур с соответствующими алгоритмами,

требующими специального изучения [6]. Существенным недостатком *продукционной модели* является то, что при накоплении достаточно большого числа (порядка нескольких сотен) продукции они начинают противоречить друг другу. Указанный недостаток делает невозможным применение продукционной модели в процессе функционирования сложной слабоформализуемой системы [7]. К недостаткам *когнитивного моделирования* следует отнести невозможность доказательства адекватности разработанной модели [8]. Значительную сложность при применении *искусственных нейронных сетей* представляют выбор ее архитектуры для решаемой задачи и низкая скорость процесса обучения [9].

Относительно свободным от указанных недостатков при решении задачи моделирования процесса выбора положения для транспортировки пострадавшего является байесовский подход, основанный на принципе максимального использования имеющейся априорной информации, ее непрерывного пересмотра и переоценки с учетом получаемых выборочных данных об исследуемом явлении или процессе. Так как байесовский метод основан на наблюдениях, то с его помощью можно последовательно вычислить вероятность истинной гипотезы. При этом новые наблюдения или решения применяются для модификации априорных вероятностей, которые в свою очередь необходимы для вычисления апостериорных вероятностей гипотез. Кроме того, в отсутствие эмпирических данных рассматриваемый метод обеспечивает использование субъективных вероятностных оценок для априорных гипотез [10].

Байесовский вывод может быть развит на сети (графы), в которых узлы (вершины) представлены случайными переменными (наблюдениями или состояниями) различных типов, а связи между ними (ребра) показывают их вероятностные зависимости. Преимуществами байесовских сетей доверия (БСД) над остальными методами являются способность моделировать сложные зависимости между узлами и возможность простого интегрирования изменяющейся во времени разнородной информации [11].

БСД используются для рассуждений в условиях неопределенности и все чаще применяются в диагностике заболеваний, выборе оптимального курса лечения пациента, предсказании исхода заболевания, построении моделей заболеваний в клинической эпидемиологии [12]. Данный научно-методический аппарат позволяет комбинировать имеющиеся статистические данные о характеристиках здоровья пациентов в дополнение к экспертной информации, которую предоставляют врачи-специалисты. Кроме того, БСД (по сравнению с другими методами) позволяют моделировать

возможность возникновения нескольких заболеваний, а ее элементы имеют достаточно простую интерпретацию [13]. Важным достоинством моделей, опирающихся на принципы искусственного интеллекта, является возможность автоматического обучения структуры модели, то есть даже если первоначальная структура модели была неполной, то имеется возможность улучшить модель при помощи поступающих данных [14].

БСД обычно представляются графически в виде направленного ациклического графа и таблиц условных вероятностей для узлов графа, соответствующих определенным переменным [15]. Процесс работы с ними заключается в выполнении двух основных операций: обучения (формирования таблиц условных вероятностей) БСД на основе имеющихся данных о переменных сети [16, 17] и непосредственного использования БСД для вычисления различных вероятностей, связанных с переменными сети.

**3. Формирование структуры и обучение байесовской сети доверия для моделирования процесса выбора положения для транспортировки пострадавшего.** Структура разработанной БСД представлена признаками травм, непосредственно травмами, соответствующими им положениями для транспортировки пострадавшего и взаимосвязями между ними (рисунок 1). При этом узлы графа БСД введены, исходя из [2], на основе признаков травм, которые можно определить визуально, путем опроса или при помощи несложных манипуляций. В предложенной модели можно выделить следующие подграфы (для наглядности представления повторяющиеся вершины графа обозначены пунктиром):

– подграф  $G_1$  «Положение для транспортировки», определяющий взаимосвязи между положениями для транспортировки (таблица 1) и соответствующими им травмами (таблица 2);

– подграф  $G_2$  «Повреждение позвоночника» с таблицей условных вероятностей  $p(x_6 | \tilde{x}_{24}, \tilde{x}_{25}, \tilde{x}_{26}, \tilde{x}_{27}, \tilde{x}_{28}, \tilde{x}_{29}, \tilde{x}_{30})$ ;

Таблица 1. Оптимальные позы для транспортировки пострадавших

Показатель	Наименование
$x_1$	На спине
$x_2$	На животе (с валиком под грудью и головой)
$x_3$	На правом боку
$x_4$	Сидя (с поднятой вверх рукой при ампутации)
$x_5$	Полусидячее положение со склоненной на грудь головой

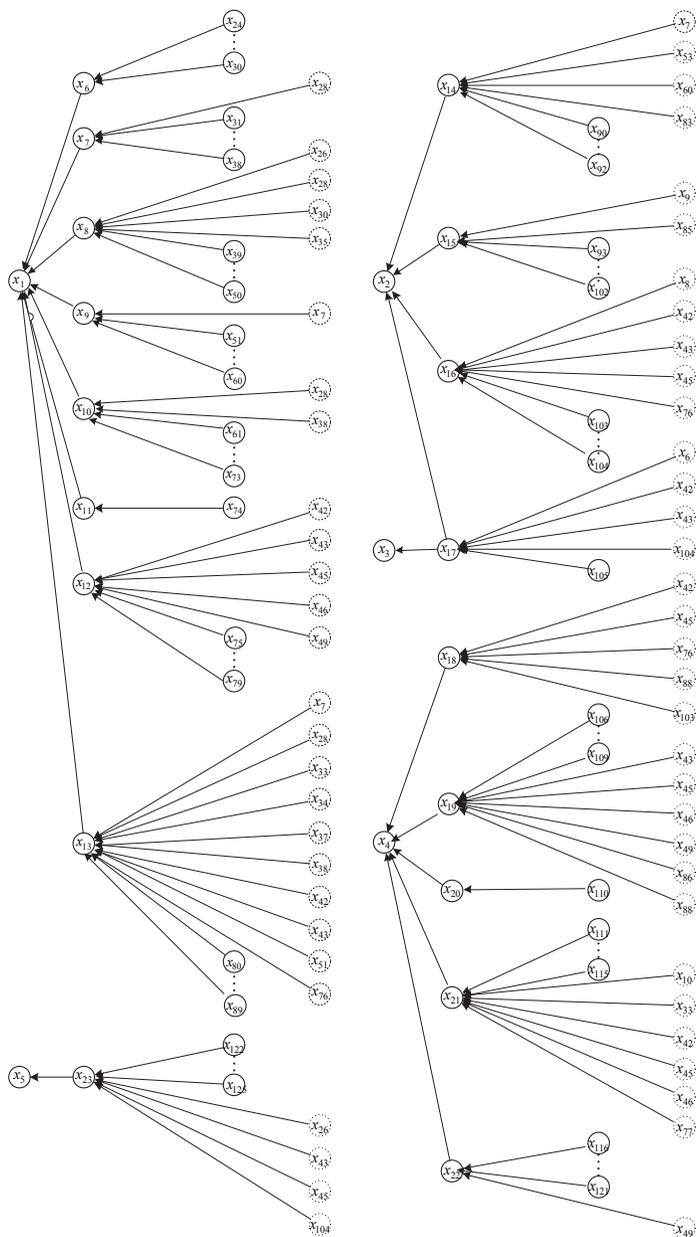


Рис. 1. Модель положения для транспортировки пострадавшего на основе БСД

Таблица 2. Перечень наиболее распространенных травм

Показатель	Наименование
$x_6$	Повреждение позвоночника
$x_7$	Шоковое состояние
$x_8$	Переломы костей таза и нижних конечностей
$x_9$	Сотрясение головного мозга
$x_{10}$	Травмы груди
$x_{11}$	Ампутация нижних конечностей
$x_{12}$	Травмы передней части головы и лица
$x_{13}$	Травмы органов брюшной полости
$x_{14}$	Кровопотеря
$x_{15}$	Травмы затылочной части головы
$x_{16}$	Травмы ягодиц, тыльной поверхности ног
$x_{17}$	Травмы спины
$x_{18}$	Ушибы, порезы, ссадины
$x_{19}$	Травмы плечевого пояса
$x_{20}$	Ампутированная верхняя конечность,
$x_{21}$	Травмы глаза, груди, дыхательных путей
$x_{22}$	Травмы верхних конечностей
$x_{23}$	Травмы шеи

– подграф  $G_3$  «Шоковое состояние» с таблицей условных вероятностей  $p(x_7 | \tilde{x}_{28} \tilde{x}_{31} \tilde{x}_{32} \tilde{x}_{33} \tilde{x}_{34} \tilde{x}_{35} \tilde{x}_{36} \tilde{x}_{37} \tilde{x}_{38})$ ;

– подграф  $G_4$  «Переломы костей таза и нижних конечностей» с таблицей условных вероятностей  $p(x_8 | \tilde{x}_{26} \tilde{x}_{28} \tilde{x}_{35} \tilde{x}_{39} \tilde{x}_{40} \tilde{x}_{41} \tilde{x}_{42} \tilde{x}_{43} \tilde{x}_{44} \tilde{x}_{45} \tilde{x}_{46} \tilde{x}_{47} \tilde{x}_{48} \tilde{x}_{49} \tilde{x}_{50})$ ;

– подграф  $G_5$  «Сотрясение головного мозга» с таблицей условных вероятностей  $p(x_9 | \tilde{x}_7 \tilde{x}_{51} \tilde{x}_{52} \tilde{x}_{53} \tilde{x}_{54} \tilde{x}_{55} \tilde{x}_{56} \tilde{x}_{57} \tilde{x}_{58} \tilde{x}_{59} \tilde{x}_{60})$ ;

– подграф  $G_6$  «Травмы груди» с таблицей условных вероятностей  $p(x_{10} | \tilde{x}_{28} \tilde{x}_{61} \tilde{x}_{62} \tilde{x}_{63} \tilde{x}_{64} \tilde{x}_{65} \tilde{x}_{66} \tilde{x}_{67} \tilde{x}_{68} \tilde{x}_{69} \tilde{x}_{70} \tilde{x}_{71} \tilde{x}_{72} \tilde{x}_{73} \tilde{x}_{74})$ ;

– подграф  $G_7$  «Ампутированная нижняя конечность» с таблицей условных вероятностей  $p(x_{11} | \tilde{x}_{75})$ ;

– подграф  $G_8$  «Травмы передней части головы и лица» с таблицей условных вероятностей  $p(x_{12} | \tilde{x}_{42} \tilde{x}_{43} \tilde{x}_{45} \tilde{x}_{46} \tilde{x}_{76} \tilde{x}_{77} \tilde{x}_{78} \tilde{x}_{79} \tilde{x}_{80} \tilde{x}_{81})$ ;

– подграф  $G_9$  «Травмы органов брюшной полости» с таблицей условных вероятностей  $p(x_{13} | \tilde{x}_7 \tilde{x}_{28} \tilde{x}_{33} \tilde{x}_{34} \tilde{x}_{37} \tilde{x}_{38} \tilde{x}_{42} \tilde{x}_{43} \tilde{x}_{78} \tilde{x}_{83} \tilde{x}_{84} \tilde{x}_{85} \tilde{x}_{86} \tilde{x}_{87} \tilde{x}_{89} \tilde{x}_{90} \tilde{x}_{91} \tilde{x}_{92})$ ;

- подграф  $G_{10}$  «Кровопотеря» с таблицей условных вероятностей  $p(x_{14} | \tilde{x}_7 \tilde{x}_{53} \tilde{x}_{60} \tilde{x}_{85} \tilde{x}_{93} \tilde{x}_{94} \tilde{x}_{95})$ ;
- подграф  $G_{11}$  «Травмы затылочной части головы» с таблицей условных вероятностей  $p(x_{15} | \tilde{x}_9 \tilde{x}_{87} \tilde{x}_{96} \tilde{x}_{97} \tilde{x}_{98} \tilde{x}_{99} \tilde{x}_{100} \tilde{x}_{101} \tilde{x}_{102} \tilde{x}_{103} \tilde{x}_{104} \tilde{x}_{105})$ ;
- подграф  $G_{12}$  «Травмы ягодиц, тыльной поверхности ног» с таблицей условных вероятностей  $p(x_{16} | \tilde{x}_8 \tilde{x}_{42} \tilde{x}_{43} \tilde{x}_{45} \tilde{x}_{78} \tilde{x}_{106} \tilde{x}_{107})$ ;
- подграф  $G_{13}$  «Травмы спины» с таблицей условных вероятностей  $p(x_{17} | \tilde{x}_6 \tilde{x}_{42} \tilde{x}_{43} \tilde{x}_{107})$ ;
- подграф  $G_{14}$  «Ушибы, порезы, ссадины» с таблицей условных вероятностей  $p(x_{18} | \tilde{x}_{42} \tilde{x}_{45} \tilde{x}_{78} \tilde{x}_{106} \tilde{x}_{109})$ ;
- подграф  $G_{15}$  «Травмы плечевого пояса» с таблицей условных вероятностей  $p(x_{19} | \tilde{x}_{43} \tilde{x}_{45} \tilde{x}_{46} \tilde{x}_{76} \tilde{x}_{89} \tilde{x}_{110} \tilde{x}_{111} \tilde{x}_{112} \tilde{x}_{113})$ ;
- подграф  $G_{16}$  «Ампутированная верхняя конечность» с таблицей условных вероятностей  $p(x_{20} | \tilde{x}_{114})$ ;
- подграф  $G_{17}$  «Травмы глаза, груди, дыхательных путей» с таблицей условных вероятностей  $p(x_{21} | \tilde{x}_{10} \tilde{x}_{33} \tilde{x}_{42} \tilde{x}_{45} \tilde{x}_{46} \tilde{x}_{115} \tilde{x}_{116} \tilde{x}_{117} \tilde{x}_{118} \tilde{x}_{119} \tilde{x}_{120})$ ;
- подграф  $G_{18}$  «Травмы верхних конечностей» с таблицей условных вероятностей  $p(x_{22} | \tilde{x}_{76} \tilde{x}_{121} \tilde{x}_{122} \tilde{x}_{123} \tilde{x}_{124} \tilde{x}_{125} \tilde{x}_{126})$ ;
- подграф  $G_{19}$  «Травмы шеи» с таблицей условных вероятностей  $p(x_{23} | \tilde{x}_{43} \tilde{x}_{45} \tilde{x}_{54} \tilde{x}_{107} \tilde{x}_{127} \tilde{x}_{128} \tilde{x}_{129} \tilde{x}_{130})$ .

Обозначение  $\tilde{x}$  используется для указания, что на этом месте в формуле может стоять как сама пропозициональная формула  $x$ , так и ее отрицание  $\bar{x}$  [18].

Признаки травм, используемые для задания узлов разработанной БСД, и способы их определения (путем осмотра, опроса, манипуляций) представлены в таблице 3.

Для подграфа  $G_i$  таблица условных вероятностей имеет вид:

$$p(x_i | \tilde{x}_6 \tilde{x}_7 \tilde{x}_8 \tilde{x}_9 \tilde{x}_{10} \tilde{x}_{11} \tilde{x}_{12} \tilde{x}_{13}) = 1,$$

если имеет место хотя бы одна пропозициональная формула  $x_i$ ,  $i = 6 \dots 13$ ;

Таблица 3. Признаки травм и способы их определения

Показатель	Наименование	Осмотр	Опрос	Манипуляции
$x_{24}$	снижение чувствительности, жжение		+	
$x_{25}$	неестественное положение шеи и спины	+		
$x_{26}$	локализация боли		+	
$x_{27}$	нарушение двигательной функции	+	+	
$x_{28}$	пониженное АД			+
$x_{29}$	онемение		+	
$x_{30}$	нарушение функций тазовых органов	+		
$x_{31}$	потеря сознания	+		
$x_{32}$	возбуждение, сменяющееся заторможенностью	+		
$x_{33}$	учащенное дыхание			+
$x_{34}$	учащенный пульс			+
$x_{35}$	тахикардия			+
$x_{36}$	беспмятство		+	
$x_{37}$	потливость			+
$x_{38}$	бледность	+		
$x_{39}$	деформация тазовой области, конечностей	+		
$x_{40}$	визуальное укорочение конечности	+		
$x_{41}$	нарушение подвижности нижних конечностей	+	+	
$x_{42}$	гематомы	+		
$x_{43}$	раны	+		
$x_{44}$	уменьшение движений в тазобедренном суставе, конечностях	+	+	
$x_{45}$	кровотечение из раневой поверхности	+		
$x_{46}$	отек мягких тканей в области травмы	+		
$x_{47}$	ротация конечности	+		
$x_{48}$	патологическая подвижность	+		
$x_{49}$	костные отломки	+		
$x_{50}$	вынужденное положение конечности	+		
$x_{51}$	заметные повреждения	+		
$x_{52}$	кровь из носа	+		
$x_{53}$	головокружение		+	
$x_{54}$	тошнота		+	
$x_{55}$	слабость		+	
$x_{56}$	свето- и звукобоязнь		+	
$x_{57}$	нарушение координации движений	+		
$x_{58}$	головная боль		+	

Продолжение таблицы 3.

Показатель	Наименование	Осмотр	Опрос	Манипуляции
$x_{59}$	расширенные/суженные зрачки	+		
$x_{60}$	шум в ушах		+	
$x_{61}$	необычные дыхательные шумы			+
$x_{62}$	парадоксальное дыхание			+
$x_{63}$	сосущие раны грудной клетки	+		
$x_{64}$	кардиалгия		+	
$x_{65}$	набухшие не пульсирующие шейные вены	+		
$x_{66}$	болевого синдром, усиливающийся при кашле		+	
$x_{67}$	подкожная эмфизема	+		
$x_{68}$	торакалгия		+	
$x_{69}$	цианоз	+		
$x_{70}$	одностороннее дыхание			+
$x_{71}$	дыхательные движения короткие и поверхностные	+		
$x_{72}$	травматическая асфиксия	+		
$x_{73}$	симптом "декольте"	+		
$x_{74}$	отсутствие нижней конечности	+		
$x_{75}$	асимметрия лица	+		
$x_{76}$	ссадины	+		
$x_{77}$	нарушение зрения		+	
$x_{78}$	деформация передней части головы и лица	+		
$x_{79}$	целостность глаз, носа	+		
$x_{81}$	напряжение мышц брюшной стенки	+		
$x_{82}$	ограничение дыхательных движений брюшной стенки	+		
$x_{83}$	жажда		+	
$x_{84}$	повышение температуры			+
$x_{85}$	рвота	+		
$x_{86}$	кровоизлияния	+		
$x_{87}$	раневые поверхности	+		
$x_{88}$	локальная припухлость и болезненность	+	+	
$x_{89}$	отечность в области промежности	+		
$x_{90}$	сонливость (зевота)		+	
$x_{91}$	брадикардия			+
$x_{92}$	круги перед глазами		+	
$x_{93}$	психомоторное возбуждение	+	+	
$x_{94}$	односторонний мидриаз	+		

Окончание таблицы 3.

Показатель	Наименование	Осмотр	Опрос	Манипуляции
$x_{95}$	снижение реакции зрачков на свет	+		
$x_{96}$	кома	+		
$x_{97}$	гемипарез		+	
$x_{98}$	повышение артериального давления			+
$x_{99}$	фокальные эпилептические припадки	+		
$x_{101}$	непроизвольные колебательные движения глаз	+		
$x_{102}$	ограничение зрения вверх	+		
$x_{103}$	порезы	+		
$x_{104}$	ушибы	+		
$x_{106}$	укорочение предплечья	+		
$x_{107}$	опущение и смещение кпереди плеча	+		
$x_{108}$	ограничение, болезненность движений		+	
$x_{109}$	деформация	+		
$x_{100}$	нарушение речи		+	
$x_{110}$	отсутствие верхней конечности	+		
$x_{111}$	нарушение целостности области глаза	+		
$x_{112}$	наличие инородного тела в области глаза	+		
$x_{113}$	уряженное дыхание			+
$x_{114}$	одышка			+
$x_{115}$	боли при дыхании		+	
$x_{116}$	хруст			+
$x_{117}$	травмированная часть конечностей изменена	+		
$x_{118}$	неправильное положение верхней конечности	+		
$x_{119}$	боли в неподвижном состоянии		+	
$x_{120}$	свобода движений только в месте, где нет суставов	+		
$x_{121}$	ограниченность в движениях	+		
$x_{122}$	невозможность поворачивать голову	+		
$x_{123}$	выраженный кифоз (выпуклый кзади)	+		
$x_{124}$	вынужденное положение шеи	+		
$x_{125}$	фиксированное положение головы	+		

$$p(x_2 | \tilde{x}_{14} \tilde{x}_{15} \tilde{x}_{16} \bar{x}_{17}) = 1,$$

если имеет место хотя бы одна пропозициональная формула  $x_i, i = 14...16$ ;

$p(x_2 | x_{14}x_{15}x_{16}x_{17}) = 1$ ;  $p(x_2 | \bar{x}_{14}\bar{x}_{15}\bar{x}_{16}x_{17}) = 0,5$ ;  $p(x_2 | \tilde{x}_{14}\tilde{x}_{15}\tilde{x}_{16}x_{17}) = 0,75$ ,  
 при любом другом сочетании пропозициональных формул  $x_i$  и их отрицаний  $\bar{x}_i$  ( $i = 14...16$ );

$$p(x_3 | x_{17}) = 1; p(x_3 | \bar{x}_{17}) = 0;$$

$$p(x_4 | \tilde{x}_{18}\tilde{x}_{19}\tilde{x}_{20}\tilde{x}_{21}\tilde{x}_{22}) = 1,$$

если имеет место хотя бы одна пропозициональная формула  $x_i$ ,  $i = 18...22$ ;

$$p(x_5 | x_{23}) = 1; p(x_5 | \bar{x}_{23}) = 0$$

Для подграфа  $G_5$  на начальном этапе формирования таблицы условных вероятностей допускается независимость появления событий  $(x_7, x_{51}...x_{60})$  и равнозначность их вклада в формирование апостериорной вероятности события  $x_9$  «Сотрясение головного мозга». Тогда:

$$p(x_9 | \tilde{x}_7\tilde{x}_{51}\tilde{x}_{53}\tilde{x}_{54}\tilde{x}_{55}\tilde{x}_{56}\tilde{x}_{57}\tilde{x}_{58}\tilde{x}_{59}\tilde{x}_{60}) = 0,1, \quad (1)$$

если в (1) имеет место одна пропозициональная формула  $x_i$ ,  $i = 7, 51, 53, 54...60$ ;

$$p(x_9 | \tilde{x}_7\tilde{x}_{51}\tilde{x}_{53}\tilde{x}_{54}\tilde{x}_{55}\tilde{x}_{56}\tilde{x}_{57}\tilde{x}_{58}\tilde{x}_{59}\tilde{x}_{60}) = 0,2, \quad (2)$$

если в (2) имеет место две пропозициональных формулы  $x_i$ ,  $i = 7, 51, 53, 54...60$ ; и так далее, вплоть до случая:

$$p(x_9 | x_7x_{51}x_{53}x_{54}x_{55}x_{56}x_{57}x_{58}x_{59}x_{60}) = 1.$$

Аналогичный подход справедлив для всех подграфов  $G_2, \dots, G_{19}$  травм  $(x_6...x_{23})$ . Уточнение таблиц условных вероятностей для них осуществляется на основе экспертной информации, имеющихся медицинских исследований, направленных на выявление подобных взаимосвязей между элементами процесса диагностики травм, накопленных статистических данных.

**4. Анализ процесса выбора положения для транспортировки пострадавшего.** Процедура вычисления вероятностей исходов одной

или нескольких переменных БСД на основе таблиц условных вероятностей и известных данных (свидетельств) о значениях признаков травм называется опросом сети. Данная процедура выполняется как на этапе обучения сети, так и при ее непосредственном использовании, поэтому эффективность работы БСД во многом зависит от используемого алгоритма опроса и его реализации. Все известные методы опроса БСД можно условно разделить на две категории: алгоритмы, использующие представление БСД в более удобной для опроса форме (называемые также алгоритмами кластеризации), и приближенные алгоритмы, оперирующие стохастическими методами вычислений [19–21].

В проведенном исследовании применен алгоритм опроса БСД, использующий представление (кластеризацию) исходной сети в виде так называемого дерева сочленений (junction tree). Такой подход позволяет перейти от опроса сети общего вида к работе с древовидным графом, что существенно сокращает время вычислений, избавляя от необходимости во многих промежуточных расчетах. Данный алгоритм имеет ряд преимуществ:

1) использование дерева сочленений возможно для сетей любой топологической сложности, что делает этот алгоритм универсальным и применимым к очень широкому кругу задач;

2) в отличие от стохастических алгоритмов опроса дерево сочленений позволяет получить точные, а не приближенные значения требуемых вероятностей, при этом алгоритм обладает достаточно высокой скоростью работы.

Во всех популярных программах работы с БСД именно алгоритм дерева сочленений (в той или иной реализации) является основным алгоритмом опроса. Кроме того, для ряда задач, предполагающих работу с БСД и требующих точных результатов при сложной топологии сети, не существует приемлемого пути опроса, не использующего представления сети в виде дерева сочленений [22]. С учетом широкой распространенности и очевидной перспективности использования данного алгоритма, в настоящем исследовании проведено моделирование процесса выбора положения для транспортировки пострадавшего с использованием программы «Netica» [23].

На рисунке 2 приведен пример ее использования для вычисления вероятности для показателя  $x_1$  (положение для транспортировки – на спине). Наиболее вероятное положение для транспортировки (рисунок 3) определялось как значение множества допустимых положений, доставляющее максимум вероятности

наличия травмы (травм), при условии конкретного набора свидетельств ( $x_{24}...x_{130}$ ), включающего в себя признаки травм, симптомы и другие показатели (таблица 3).

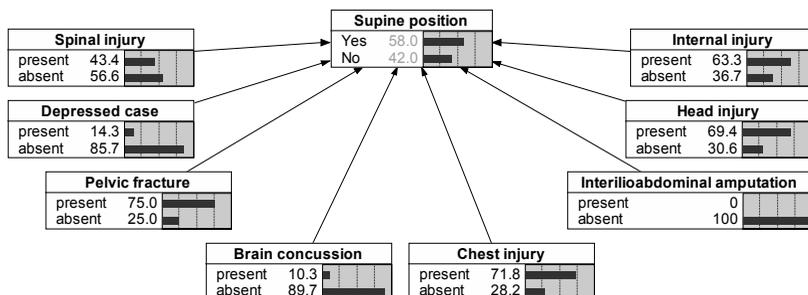


Рис. 2. Моделирование апостериорного вывода на подграфе  $G_1$  «Положение для транспортировки» в программе «Netica»

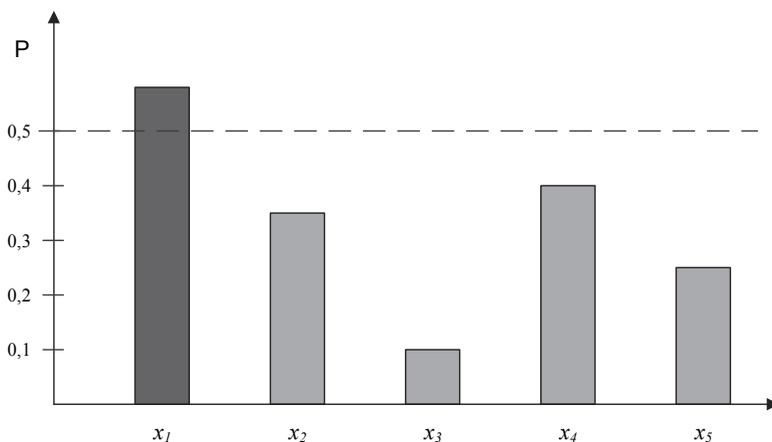


Рис. 3. Определение наиболее вероятного положения для транспортировки пострадавшего

**5. Выводы.** Результаты моделирования свидетельствуют, что разработанная БСД обеспечивает возможность решения задач вероятностного прогнозирования, базируясь на субъективных и неполных данных. Первые из них формируются в результате опроса пострадавшего, вторые – на основе систем компьютерного зрения (осмотр) и датчиков различного назначения (манипуляции), устанавливаемых на специализированных роботах.

Вероятностные оценки наблюдаемых свойств (свидетельств) дают фактические величины, позволяющие получить возможность пересмотра доверия к оценкам ненаблюдаемых свойств (травм и положений для транспортировки). Модель выбора положения для транспортировки пострадавшего дает возможность:

– установить, какие свидетельства являются наиболее важными по степени влияния на решение, составить их список и ранжировать по степени важности;

– выявить переменные  $x_i$  ( $i = 24...125$ ), не дающие оснований для выводов;

– создать упорядоченный список шагов, наиболее эффективно приводящих к ясному решению относительно положения для транспортировки (например, список вопросов, которые должны быть заданы пострадавшему при анализе ситуации, перечень и последовательность применения датчиков и т.п.).

Исследование указанных возможностей позволит модифицировать разработанную модель выбора положения для транспортировки пострадавшего, синтезировать алгоритмы оценки признаков травм, состояния человека и оптимизировать алгоритм вероятностного вывода.

Разрабатываемые средства ориентированы на развитие спасательной робототехники на основе интеллектуального программно-аппаратного обеспечения человеко-машинного взаимодействия [24–27].

## Литература

1. *Мотиенко А.И., Басов О.О.* Применение автоматизированных робототехнических средств транспортировки для оказания первой помощи пострадавшим // Сборник научных статей 2-й Международной молодежной научно-технической конференции «Прогрессивные технологии и процессы». Курск. 2015. Т. 2. С. 216–220.
2. *Коннова Л.А., Балабанов В.А., Артамонова Г.К.* Основы первой помощи: учебник для курсантов, студентов и слушателей высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки бакалавров «Техносферная безопасность» и специальности «Пожарная безопасность» / Под общей ред. О. М. Латышева // СПб.: Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России. 2015. 162 с.
3. *Мотиенко А.И., Ронжин А.Л., Павлюк Н.А.* Современные разработки аварийно-спасательных роботов: возможности и принципы их применения // Научный вестник НГТУ. 2015. № 3(60). С. 147–165.
4. Приказ Минздрава России от 14.03.2012 № 477н «Об утверждении перечня состояний, при которых оказывается первая помощь, и перечня мероприятий по оказанию первой помощи». 2012. 3 с.

5. *Михеев М.Ю., Котякова В.А., Володина Е.А., Баннов В.Я.* Применение «дерева решений» для анализа состояния сложных систем // Труды международного симпозиума Надёжность и качество. Пенза: ПГУ. 2012. Т. 2. С. 401–403.
6. *Тутыгин А.Г., Коробов В.Б.* Преимущества и недостатки метода анализа иерархий // Известия РГПУ им. А. И. Герцена. 2010. Т. 1. С. 108–115.
7. *Продукционная модель знаний.* URL: <http://www.aiportal.ru/articles/knowledge-models/production-model.html> (дата обращения: 29.10.2015).
8. *Кузькин А.А.* Методика обеспечения устойчивости стратегии развития информационных технологий на предприятии в условиях неопределенности воздействия среды // Дисс. к.т.н. СПб. 2015. 116 с.
9. *Басов О.О., Карпов А.А., Саитов И.А.* Методологические основы синтеза полимодальных инфокоммуникационных систем государственного управления: монография // Орёл: Академия ФСО России. 2015. 271 с.
10. *Мусина В.Ф.* Байесовские сети доверия как вероятностная графическая модель для оценки медицинских рисков // Труды СПИИРАН. 2013. Вып. 24. С. 135–151.
11. *Pitsikalis V., Katsamanis A., Papandreou G., Maragos P.* Adaptive multimodal fusion by uncertainty compensation // In Proceedings of the Ninth International Conference on Spoken Language Processing. Pittsburgh. 2006.
12. *Wasylyuk H., Onisko A., Druzdel M.J.* Support of diagnosis of liver disorders based on a causal Bayesian network model // Medical Science Monitor. 2001. vol. 7. pp. 327–332.
13. *Lacave C., Diez F.J.* Knowledge Acquisition in PROSTANET – A Bayesian network for diagnosis prostate cancer // Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems. 2003. LNCS 2774. pp. 1345–1350.
14. *Wiegerincka W.A.J.J., et al.* Approximate inference for medical diagnosis // Pattern Recognition Letters. 1999. vol. 20. no. 11–13. pp. 1231–1239.
15. *Jensen F.V., Nielsen T.D.* Bayesian networks and decision graphs // New York: Springer. 2007.
16. *Dempster A., Laird N., Rubin D.* Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm // J. of the Royal Statistical Society. 1997. vol. 39. no. 1. pp. 1–38.
17. *Bender J., Koller D., Russel R., Kanazava K.* Adaptive probabilistic networks with hidden variables // Machine Learning. 1997. vol. 29. no. 2–3. pp. 213–244.
18. *Тулупьев А.Л., Сироткин А.В., Николенко С.И.* Байесовские сети доверия. Логико-вероятностный вывод в ациклических направленных графах // СПб.: Изд-во СПбГУ. 2009. 400 с.
19. *Henrion M.* Propagating uncertainty in Bayesian networks by logic sampling // Uncertainty in Artificial Intelligence. Amsterdam 1988. vol 2. pp. 149–163.
20. *Fung R., Chang K.-C.* Weighting and integrating evidence for stochastic simulation in Bayesian networks // Proc. of the Fifth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI-89). Amsterdam. 1989. pp. 475–482.
21. *Shachter R., Peot M.* Simulation approaches to general probabilistic inference on belief networks // Proc. of the Fifth Workshop on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI-89). Amsterdam. 1989. pp. 311–318.
22. *Масленников Е.Д., Сулимов В.Б.* Предсказания на основе байесовских сетей доверия: алгоритм и программная реализация // Вычислительные методы и программирование. 2010. Т. 11. № 2. С. 222–235.
23. *Netica.* URL: <http://www.norsys.com/> (дата обращения: 12.09.2015).
24. *Ронжин А.Л., Юсупов Р.М.* Многомодальные интерфейсы автономных мобильных робототехнических комплексов // Известия ЮФУ. Технические науки. 2015. № 1(162). С. 195–206.
25. *Басов О.О.* Принципы построения полимодальных инфокоммуникационных систем на основе многомодальных архитектур абонентских терминалов // Труды СПИИРАН. 2015. Вып. 39. С. 109–122.

26. Козыренко Н.С., Мещеряков Р.В., Ходашинский И.А., Ануфриева Н.Ю. Математическое и алгоритмическое обеспечение оценки состояния здоровья человека // Труды СПИИРАН. 2014. Вып. 33. С. 117–146.
27. Карпов А.А., Ронжин А.Л. Многомодальные интерфейсы в автоматизированных системах управления // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2005. Т. 48. № 7. С. 9-14.

## References

1. Motienko A.I., Basov O.O. [Application of automated robotic means of transportation for first aid to sufferer]. *Sbornik nauchnyh statej 2-j Mezhduнародной molodezhnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii "Progressivnye tehnologii i process"* [Collected papers of International youth scientific and technical conference "Progressive Technologies and Processes"] Kursk. 2015. vol. 2. pp. 216–220. (In Russ.).
2. Konnova L.A., Balabanov V.A., Artamonova G.K. *Osnovy pervoj pomoshhi: uchebnik dlja kursantov, studentov i slushatelej vysshih uchebnyh zavedenij, obuchajushhihsja po napravleniju podgotovki bakalavrov «Tehnosfernaja bezopasnost'» i special'nosti «Pozharnaja bezopasnost'». Pod obshhej red. O.M. Latysheva* [Basics of First Aid: a textbook for students and students of higher educational institutions enrolled in the bachelor degree program "Technosphere safety" and the specialty "Fire safety". Edited by O.M. Latyshev]. SPb.: Sankt-Peterburgskij universitet GPS MChS Rossii. 2015. 162 p. (In Russ.).
3. Motienko A.I., Ronzhin A.L., Pavljuk N.A. [The modern development of rescue robots, opportunities and principles of their application]. *Nauchnyj vestnik NGTU – Science bulletin of NSTU*. 2015. vol. 3(60). pp. 147–165. (In Russ.).
4. Prikaz Minzdravsocrazvitiya RF № 477n «Ob utverzhdenii perechnja sostojanij, pri kotoryh okazyvaetsja pervaja pomoshh', i perechnja meroprijatij po okazaniju pervoj pomoshhi» [Order of the Health Ministry of the Russian Federation № 477n "On approving the list of conditions for which to provide first aid, and the list of measures for first aid"]. 2012. 3 p. (In Russ.).
5. Miheev M.Ju., Kotjakova V.A., Volodina E.A., Bannov V.Ja. [Application of "decision tree" for the analysis of complex systems]. *Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma "Nadjozhnost' i kachestvo"* [Proceedings of international symposium "Reliability & Quality"]. Penza: PGU. 2012. vol. 2. pp. 401–403. (In Russ.).
6. Tutygin A.G., Korobov V.B. [Advantages and disadvantages of the analytic hierarchy process]. *Izvestija RGPU im. A. I. Gercena – Izvestia: Herzen University Journal of Humanities & Science*. 2010. vol. 1. pp. 108–115. (In Russ.).
7. *Produkcionnaja model' znanij* [Production system]. Available at: <http://www.aiportal.ru/articles/knowledge-models/production-model.html> (accessed: 29.10.2015). (In Russ.).
8. Kuz'kin A.A. *Metodika obespechenija ustojchivosti strategii razvitiya informacionnyh tehnologij na predpriyatii v uslovijah neopredelennosti vozdejstvija sredy* [The methods for ensuring the sustainability of strategy of development of information technology in the enterprise in the conditions of uncertainty of exposure]. Ph.D. thesis. Spb. 2015. 116 p. (In Russ.).
9. Basov O.O., Karpov A.A., Saitov I.A. *Metodologicheskie Osnovy Sintezha Polimodal'nykh Infokommunikatsionnykh Sistem Gosudarstvennogo Upravleniya* [Methodological Bases of Synthesis of Multimodal Communication Systems of Public Administration]. Orel. Akademiya FSO Rossii Publ. 2015. 271 p. (In Russ.).
10. Musina V.F. [Bayesian belief networks as probabilistic graphical model for medical risk assessment]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2013. vol. 24. pp. 135–151. (In Russ.).

11. Pitsikalis V., Katsamanis A., Papandreou G., Maragos P. Adaptive multimodal fusion by uncertainty compensation. In Proceedings of the Ninth International Conference on Spoken Language Processing. Pittsburgh. 2006.
12. Wasyluk H., Onisko A., Druzdzel M.J. Support of diagnosis of liver disorders based on a causal Bayesian network model. *Medical Science Monitor*. 2001. vol. 7. pp. 327–332.
13. Lacave C., Diez F.J. Knowledge Acquisition in PROSTANET – A Bayesian network for diagnosis prostate cancer. *Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems*. 2003. LNCS 2774. pp. 1345–1350.
14. Wiegerincka W.A.J.J., et al. Approximate inference for medical diagnosis. *Pattern Recognition Letters*. 1999. vol. 20. no. 11–13. pp. 1231–1239.
15. Jensen F.V., Nielsen T.D. Bayesian networks and decision graphs. New York: Springer. 2007.
16. Dempster A., Laird N., Rubin D. Maximum likelihood from incomplete data via the EM algorithm. *Jour. of the Royal Statistical Society*. 1997. vol. 39. no. 1. pp. 1–38.
17. Bender J., Koller D., Russel R., Kanazava K. Adaptive probabilistic networks with hidden variables. *Machine Learning*. 1997. vol. 29. no. 2–3. pp. 213–244.
18. Tulup'ev A.L., Sirotkin A.V., Nikolenko S.I. *Bajesovskie seti doverija. Logiko-verojatnostnyj vyvod v aciklicheskih napravlennyh grafah* [Bayesian belief networks. Logical and probabilistic inference in the acyclic directed graph]. SPb.: Izd-vo SPbGU. 2009. 400 p. (In Russ.).
19. Henrion M. Propagating uncertainty in Bayesian networks by logic sampling. *Uncertainty in Artificial Intelligence*. Amsterdam 1988. vol 2. pp. 149–163.
20. Fung R., Chang K.-C. Weighting and integrating evidence for stochastic simulation in Bayesian networks. In Proceedings of the Fifth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI-89). Amsterdam. 1989. pp. 475–482.
21. Shachter R., Peot M. Simulation approaches to general probabilistic inference on belief networks. In Proceedings of the Fifth Workshop on Uncertainty in Artificial Intelligence (UAI-89). Amsterdam. 1989. pp. 311–318.
22. Maslennikov E.D., Sulimov V.B. [Predictions based on Bayesian belief networks: algorithm and software implementation] *Vychislitel'nye metody i programirovanie – Numerical methods and programming*. 2010. vol. 11. no. 2. pp. 222–235. (In Russ.).
23. Netica. Available at: <http://www.norsys.com/> (accessed: 12.09.2015).
24. Ronzhin A.L., Yusupov R.M. [Multimodal interfaces for autonomous robotic systems]. *Izvestija JuFU. Tehnicheskie nauki – Izvestiya SFedU. Engineering sciences*. 2015. vol. 1(162). C. 195–206. (In Russ.).
25. Basov O.O. [Principles of construction of polymodal info-communication systems based on multimodal architectures of subscriber's terminals]. *Trudy SPIIRAS – SPIIRAS Proceedings*. 2015. vol. 39. pp. 109-122. (In Russ.).
26. Kozyrenko N.K., Meshcheryakov R.V., Hodashinsky I.H., Anufrieva N.A. [Mathematical Model and Algorithms of People Health Evaluation]. *Trudy SPIIRAS – SPIIRAS Proceedings*. 2015. vol. 33. pp. 117-146. (In Russ.).
27. Karpov A.A., Ronzhin A.L. [Multimodal interfaces in automated control systems]. *Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij. Priborostroenie – Universities proceedings. Instrument engineering*. 2005. vol. 48. no. 7. pp. 9-14.

**Мотненко Анна Игоревна** — научный сотрудник исследовательской группы информационных технологий в образовании, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН), преподаватель кафедры физики, математики и информатики, Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И. П. Павлова (ГБОУ ВПО СПббГМУ им. И. П. Павлова Минздрава России). Область научных интересов: информационный технологии в

образовании, информационные технологии в медицине, аварийно-спасательные роботы. Число научных публикаций — 4. [anna.gunchenko@gmail.com](mailto:anna.gunchenko@gmail.com); 14-я линия В.О., д. 39, Санкт-Петербург, 199178; p.t.: +7(812)328-03-82.

**Motienko Anna Igorevna** — researcher of research group of information technologies in education, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS), teacher of physics, mathematics and informatics department, Pavlov First Saint Petersburg State Medical University. Research interests: information technologies in education, information technologies in medicine, rescue robots. The number of publications — 4. [anna.gunchenko@gmail.com](mailto:anna.gunchenko@gmail.com); 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone: +7(812)328-03-82.

**Макеев Сергей Михайлович** — сотрудник, Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации. Область научных интересов: оценка техногенного риска, вероятностное и статистическое моделирование, количественные и качественные методы анализа данных. Число научных публикаций — 9. [MakSM57@yandex.ru](mailto:MakSM57@yandex.ru); Приборостроительная, 35, Орел, 302034; p.t.: 8(486)2549464.

**Makeev Sergey Mihajlovich** — researcher, The Academy of Federal Security Guard Service of the Russian Federation. Research interests: assessment of technogenic risk, probabilistic and statistical modeling, quantitative and qualitative methods of data analysis. The number of publications — 9. [MakSM57@yandex.ru](mailto:MakSM57@yandex.ru); 35, Priborostroitelnaya Street, Orel, 302034, Russia; office phone: 8(486)2549464.

**Басов Олег Олегович** — к-т техн. наук, сотрудник, Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации. Область научных интересов: обработка и кодирование речевых и иконических сигналов, проектирование полимодальных инфокоммуникационных систем. Число научных публикаций — 165. [oobasov@mail.ru](mailto:oobasov@mail.ru); Приборостроительная, 35, Орел, 302034; p.t.: +7(4862)549533.

**Basov Oleg Olegovich** — Ph.D., researcher, The Academy of Federal Security Guard Service of the Russian Federation. Research interests: processing and coding of speech and iconic signals, polymodal infocommunicational systems design. The number of publications — 165. [oobasov@mail.ru](mailto:oobasov@mail.ru); 35, Priborostroitelnaya Street, Orel, 302034, Russia; office phone: +7(4862)549533.

## РЕФЕРАТ

### *Мотиенко А.И., Макеев С.М., Басов О.О.* **Анализ и моделирование процесса выбора положения для транспортировки пострадавшего на основе байесовских сетей доверия.**

Целью настоящего исследования является разработка методов реализации мероприятий по оказанию первой помощи пострадавшим и программно-алгоритмических решений, обеспечивающих их транспортировку, на основе моделирования автоматизированных робототехнических средств при проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ.

Для транспортировки пострадавших с помощью автоматизированных робототехнических средств необходимо определение оптимального положения тела. Ведущую роль при выборе способа, средств и положения, в котором будут транспортироваться пострадавшие, играют виды травм, их локализация, состояние пострадавшего. Однако в рассматриваемой предметной области наблюдается отсутствие адекватного описания соответствий между признаками полученных травм и оптимальным положением тела пострадавшего при транспортировке.

В статье представлена вероятностная модель на основе байесовской сети доверия, которая позволяет определить наиболее важные признаки травм, влияющие на принятие решения о выборе положения пострадавшего при его транспортировке. Вероятностные оценки наблюдаемых свойств (признаков травм) дают фактические величины, позволяющие получить возможность пересмотра доверия к оценкам ненаблюдаемых свойств (травм и положений для транспортировки). В данном исследовании было проведено моделирование процесса выбора положения для транспортировки пострадавшего с использованием программы «Netica». Рассматриваемый подход позволяет определить наиболее важные признаки, влияющие на принятие решения о выборе положения пострадавшего при транспортировке в условиях неполноты данных касательно характеристик травм, состояния человека, а также сформировать список действий, наиболее эффективно приводящих к необходимому заключению о выборе положения для транспортировки.

## SUMMARY

### *Motienko A.I., Makeev S.M., Basov O.O.* **Analysis and Modeling of the Process of a Choice of Position for Transportation of the Sufferer on the basis of Bayesian Belief Networks.**

The purpose of this research is the development of methods for the implementation of measures to provide first aid to the sufferer and program-algorithmic solutions, providing the transportation, on the basis of modeling of automated robotic means during the rescue and other emergency operations.

The transportation of the sufferer by automated robotic means needs to determine the optimal position of the body. The leading role in choice of the method, means, and the position in which the sufferer will be transported play types of injuries, their location, condition of the sufferer. However, in the subject area there is a lack of adequate description of correspondences between the signs of the injuries and the optimal position of the body of the sufferer during transportation.

The probabilistic model based on Bayesian belief networks, which allows you to identify the most important signs of injuries affecting the decision on the choice of the position of the sufferer during transportation is presented in the paper. Probabilistic assessments of the observed properties (signs of injures) give the actual values, allowing to get the opportunity to reconsider the credibility of the estimates of unobserved properties (injuries and positions for the transportation). The modeling of process of a choice of position for transportation of the sufferer with use of the Netica program was carried out in this research. The considered approach allows to define the most important signs of injuries influencing the decision on a choice of position of the sufferer during transportation in the conditions of incomplete information about the characteristics of injuries, a condition of the person and also to create a list of actions which most effectively will lead to the necessary conclusion about the choice of position for transportation.