

Байесовский подход при численном расчете риска медицинской эвакуации автотранспортом

Д. А. Демчук¹, К. А. Демчук², Ю. В. Шевцова³, А. Н. Полетайкин^{3,4}

¹ ООО «Ланит технологии»

² КГБУЗ «Алтайский краевой кардиологический диспансер»

³ Сибирский гос. унив. телекоммуникаций и информатики (СибГУТИ)

⁴ Кубанский государственный университет (КубГУ)

Аннотация: В статье предложен оригинальный логико-вероятностный метод определения успешности медицинской эвакуации тяжелых пациентов автомобильным транспортом. Предусматривается формирование комплексной оценки дорожных условий, проведение оценки факторов риска транспортировки реанимационного пациента, а также вычисление формальной количественной меры риска транспортировки методом байесовского вывода. Исследование программной реализации разработанного метода показало возможность создания эффективного инструмента оценивания рисков транспортировки для принятия управленческих решений.

Ключевые слова: байесовские сети доверия, реанимационный пациент, дорожные условия, риски транспортировки, факторы риска, идентификация факторов риска, медицинская транспортировка, формула Байеса, состояние пациента, Python, PyAgrum.

Для цитирования: Демчук Д. А., Демчук К. А., Шевцова Ю. В., Полетайкин А. Н. Байесовский подход при численном расчете риска медицинской эвакуации автотранспортом // Вестник СибГУТИ. 2023. Т. 17, № 1. С. 18–32. <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2023-17-1-18-32>.



Контент доступен под лицензией
Creative Commons Attribution 4.0
License

© Демчук Д. А., Демчук К. А.,
Шевцова Ю. В., Полетайкин А. Н., 2023

Статья поступила в редакцию 30.04.2022;
переработанный вариант – 07.11.2022;
принята к публикации 06.12.2022.

1. Введение

Медицинская транспортировка реанимационных больных – это комплекс мер, направленных на эвакуацию пациентов в тяжёлом состоянии в лечебно-профилактические учреждения, где им может быть оказана высококвалифицированная специализированная медицинская помощь. Анализ отчетов субъектов Российской Федерации показывает, что потребность населения в выездных формах работы при оказании экстренной медицинской помощи возрастает из года в год [1]. Как правило, такая транспортировка в мирное время осуществляется из лечебно-профилактических учреждений (ЛПУ) уровня центральных районных больниц. После стабилизации состояния, оказания первичной специализированной медицинской помощи, пациент транспортируется в лечебно-профилактические учреждения областных (краевых) центров, где возможно оказание более квалифицированной и технологичной помощи. При этом реанимационная эвакуация проводится в случаях, когда лечебно-

профилактическое учреждение, в которое поступил пациент, не способно оказать помощь в виду отсутствия необходимого оборудования или медицинских кадров.

Как правило, состояние пациента оценивается до эвакуации дистанционно посредством консультаций с коллегами на местах. Затем реанимационная бригада выезжает непосредственно к больному. На месте оценивается тяжесть состояния пациента, данные лабораторных и инструментальных методов обследования (доступных для данного лечебно-профилактического учреждения), витальные параметры, медицинские риски (например, такие как риск проведения эвакуации, риск ухудшения состояния, вызванного именно эвакуацией и др.). После этого эвакуирующая бригада принимает решение о возможности транспортировки пациента.

На данный момент для определения безопасности эвакуации врач проводит собственную оценку по каждому фактору ключевых показателей состояния здоровья. В случае если эвакуирующая бригада фиксирует риск катастрофического ухудшения состояния пациента, эвакуация отменяется. Очевидно, что такой метод оценки не предполагает численную формализацию риска, зависит от субъективного мнения эвакуирующего врача, основанного на его знаниях, опыте и в некоторых случаях может приводить к ошибочным выводам (как недооценка риска транспортировки, так и переоценка тяжести состояния).

Стоит отметить, что основная сложность при оценке риска возникает в условиях неопределённости. Например, продолжающиеся кровотечения, отсутствие надёжной иммобилизации, шок являются очевидными и безусловными факторами отмены эвакуации независимо от ключевых параметров состояния здоровья. В то время как, например, нестабильность гемодинамики при некоторых состояниях может купироваться медикаментозно, что, в свою очередь, ухудшает прогноз транспортировки, но не является однозначным фактором для отмены эвакуации. Нередко имеют место и ситуации, когда риск оставления пациента «на месте» превышает риск транспортировки.

Отечественных исследований в данной области крайне мало. Найденные зарубежные работы посвящены в основном статистическим наблюдениям транспортировок пациентов авиационным транспортом, что характерно для государств с развитой системой малой авиации. Необходимость тщательной оценки состояния здоровья пациента перед эвакуацией подтверждается исследованием, проведенным на базе медицинского факультета университета Лозанны (Швейцария) в 2018 году, по результатам которого из 979 пациентов, перевезённых между лечебными учреждениями авиационным транспортом, только 40 (4.1 %) были классифицированы как получившие пользу от реанимационных мероприятий во время полёта [2]. Для эвакуации автотранспортом, учитывая более высокие риски, это более актуально, так как даже при благоприятных условиях транспортировки эффективность реанимационных мероприятий в дороге крайне низкая. Немаловажным фактором является и то, что всю полноту ответственности (вплоть до юридической) за принятое решение врач эвакуационной бригады берет на себя.

Учитывая вышеизложенное, актуальной задачей является создание эффективного консультационного инструмента идентификации и оценки рисков эвакуации реанимационного пациента. Данное решение позволит получить достоверные оценки рисков транспортировки пациента автомобильным транспортом.

2. Постановка задачи

Цель исследования – повышение достоверности оценивания рисков транспортировки реанимационного пациента, в том числе в условиях неопределённости оценки состояния пациента, для обеспечения поддержки принятия адекватного решения по транспортировке.

Основная задача исследования – идентификация рисков факторов и оценивание рисков эвакуации на основании ключевых показателей состояния здоровья пациента и дорожных факторов транспортировки.

В качестве метода оценивания могут рассматриваться экспертные методы и методы машинного обучения. Последние, в числе которых нейронные сети, решающие деревья, модель выживаемости Кокса др., предполагают наличие достаточных ретроспективных данных для построения обучающих выборок. В связи с отсутствием таковых предлагается рассмотреть один из экспертных методов – байесовские сети доверия.

Перечислим основные группы факторов, влияющие на возможное негативное развитие состояния здоровья пациента в пути:

- состояние сердечно-сосудистой системы;
- уровень сознания – используется шкала комы Глазго;
- состояние дыхательной системы;
- вид автотранспорта (специализированный/неспециализированный);
- дорожные условия (качество дороги, расстояние).

Каждый фактор из этих групп характеризуется определенными параметрами и влияет на развитие рискованных событий.

Показатели, которые могут повлиять на развитие определенных ухудшений, можно разделить на две группы: ключевые показатели состояния здоровья и дорожно-транспортные параметры. К ключевым параметрам состояния здоровья относятся:

- оценка состояния по шкале комы Глазго;
- тип дыхания пациента;
- сатурация;
- артериальное давление;
- пульс;
- диурез.

К дорожно-транспортным параметрам относятся:

- тип автотранспорта;
- оценка дорожных условий.

Используя вышеописанные факторы, требуется идентифицировать возможные риски и оценить общий риск эвакуации.

Формализация задачи.

Имеется набор свидетельств (экспертных утверждений о проблемной области):

$$E = (G, B, S, Pr, Pu, Di, Tr, Ro),$$

где $G = \{G \in \mathbb{Z}, 0 \leq G \leq 15\}$ – показатель уровня комы по шкале комы Глазго;

B – дискретный показатель типа дыхания пациента:

$$B = \begin{cases} 0, & \text{если дыхание спонтанное;} \\ 1, & \text{если спонтанное с кислородной поддержкой;} \\ 2, & \text{если аппаратное;} \end{cases}$$

$S = \{S \in \mathbb{Z}, 0 \leq S \leq 100\}$ – показатель сатурации;

$Pr = \{Pr \in \mathbb{Z}, 0 \leq Pr \leq 250\}$ – показатель систолического давления;

$Pu = \{Pu \in \mathbb{Z}, 0 \leq Pu \leq 200\}$ – показатель пульса (уд/мин);

$Di = \{Di \in \mathbb{Z}, 0 \leq Di \leq 100\}$ – показатель диуреза (мл/ч);

Tr – дискретный показатель типа транспорта, на котором производится эвакуация:

$$Tr = \begin{cases} 0, & \text{если используется специализированный автотранспорт;} \\ 1, & \text{если используется неспециализированный автотранспорт;} \end{cases}$$

$Ro = \overline{0,5}$; $Ro \in \mathbb{R}$ – комплексная оценка дорожных условий, учитывающая состояние дорожного покрытия (табл. 1) и фактор расстояния.

Предлагается комплексную оценку дорожных условий определять как

$$Ro = \frac{d}{\left(\frac{a}{R}\right) + 1},$$

где d – оценка состояния дорожного покрытия (см. табл. 1); R – максимальное расстояние эвакуации в регионе (например, для Алтайского края принимается максимальное расстояние, равное 750 км); $a \in [0, R]$ – фактическое расстояние эвакуации.

Требуется определить значения кортежа вероятностей $\langle p_1, p_2, p_3, p_4 \rangle$, где p_1 – вероятность критического состояния сердечно-сосудистой системы, p_2 – вероятность критического состояния системы дыхания, p_3 – вероятность критического общесоматического состояния, p_4 – вероятность возникновения негативных факторов, зависящих от дорожной ситуации; а также $p_{общ.}$ – общую вероятность ухудшения состояния пациента во время эвакуации.

Таблица 1. Оценка состояния дорожного покрытия

Состояние дорожного покрытия	Оценка
Федеральные трассы с твердым покрытием без существенных изъянов	5
Региональные дороги с твердым покрытием без изъянов	4
Региональные дороги с твердым покрытием с изъянами	3
Региональные дороги с твердым покрытием и периодическим его отсутствием	2
До 40 % пути – грунтовая дорога	1
Свыше 40 % – грунтовая дорога	0

3. Предлагаемая методика решения задачи

3.1. Построение структуры байесовской сети

Для решения поставленной задачи предлагается аппарат байесовского моделирования.

Установлено, что байесовские сети являются эффективным инструментом для поддержки принятия решений при предоставлении медицинской помощи пациентам [3].

Байесовская сеть является, по сути, графовой вероятностной моделью, представляющей собой множество переменных и их вероятностных байесовских зависимостей.

Байесовская сеть позволяет получить ответы на такие типы вероятностных запросов, как а) нахождение вероятности свидетельства, б) определение априорных маргинальных вероятностей, в) определение апостериорных маргинальных вероятностей, включая:

- прогнозирование, или прямой вывод (определение вероятности события при наблюдаемых причинах);
- диагностирование, или обратный вывод (определение вероятности причины при наблюдаемых следствиях);
- межпричинный (смешанный) вывод (определение вероятности одной из причин наступившего события при условии наступления одной или нескольких других причин этого события);

г) вычисление наиболее вероятного объяснения наблюдаемого события [4, 5].

Сформируем эмпирическую модель сети. Для этого опишем узлы байесовской сети, сформировав узлы-предки, в которых на основании эмпирических данных о состоянии здоровья эвакуируемых пациентов опишем их априорные вероятности. В узлах-предках определим следующие состояния соответствующих им переменных:

- переменная «Шкала комы Глазго» содержит 4 интервальных состояния: [0, 8]; [8, 11]; [11, 13]; [13, 15];
- переменная «Дыхание» содержит 3 дискретных состояния: Spont (дыхание спонтанное); SpontO2 (дыхание спонтанное с кислородной поддержкой); Apparat (дыхание аппаратное);
- переменная «Сатурация» содержит 3 интервальных состояния: [0, 90]; [90, 93]; [93, 100];
- переменная «АД» (артериальное давление) содержит 3 интервальных состояния: Гипотония – [0, 100]; Норма – [100, 130]; Гипертония – [130, 250];
- переменная «Пульс» имеет 3 интервальных состояния: Брадикардия – [0, 55]; Норма – [55, 80]; Тахикардия – [80, 200];
- переменная «Диурез» имеет 3 интервальных состояния: Пониженный – [0, 30]; Норма – [30, 100]; Повышенный – [100, 120];
- переменная «Автотранспорт» имеет 2 дискретных состояния: Спец (специализированный); NotСпец (неспециализированный);
- переменная «Оценка дороги» основывается на R_0 и имеет 3 интервальных состояния: [0, 2]; [2, 3]; [3, 5].

Заметим, что идентифицированные состояния каждой описанной выше переменной сети составляют полную группу событий, например, переменная «Автотранспорт», по сути, является булевой и может принимать два взаимоисключающих состояния: «Специализированный» и «Неспециализированный».

Узлы, описывающие параметры состояния здоровья пациента, являются предками узлов, которые идентифицируют возможные риски транспортировки: «Нарушение дыхания», «Нарушение ССС» (нарушения сердечно-сосудистой системы), «Общее соматическое состояние», «Дорожные эксцессы» (потенциальные факторы рисков, связывающие узлы «Оценка дороги», «Автотранспорт» и некоторые параметры состояния здоровья пациента). Безусловные вероятности рисков критического ухудшения в вышеописанных узлах и формируют исковый кортеж $\langle p_1, p_2, p_3, p_4 \rangle$. В свою очередь, данные узлы являются узлами-предками для узла «Общий риск транспортировки», вероятность критического состояния в котором формирует $p_{общ}$. Данным переменным задаются два состояния: «Критическое» и «Некритическое», вместе образующих полную группу событий.

Для предварительной оценки модели и тестирования параметров воспользуемся программным средством для построения и анализа байесовских сетей – «Hugin» (URL: www.hugin.com). На рис. 1 представлена рассматриваемая модель байесовской сети.

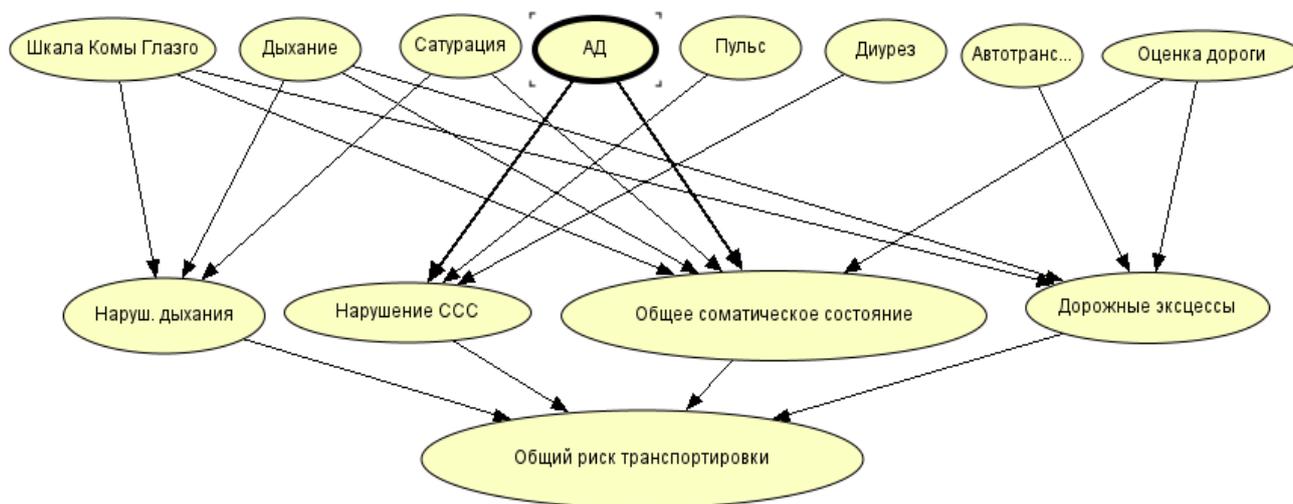


Рис. 1. Структура байесовской сети для оценки рисков транспортировки пациента

3.2. Оценка априорных параметров байесовской сети

Следующим этапом построения модели является определение априорных вероятностей для каждой переменной сети. Так, для узлов, не имеющих предков, это – $P_i(H_j), \forall i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, \sum_{j=1}^m P_i(H_j) = 1$. Определение вероятностей может базироваться на статистических данных, знаниях эксперта или, в условиях полной неопределённости, вероятности переменных могут быть заданы равномерно:

$$P_i(H_j) = P_i(H_{j+1}), \forall i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, \sum_{j=1}^m P_i(H_j) = 1.$$

Априорные вероятности состояний переменных, описывающие состояние пациента на основе опыта эксперта, показаны в табл. 2. Стоит заметить, что в процессе поступления свидетельств предполагается накапливать знания в базе знаний и уточнять априорные вероятности статистическим путём.

Для оценки априорных условных вероятностей переменных, имеющих предков: «Нарушение дыхания», «Нарушение ССС», «Общее соматическое состояние», «Дорожные эксцессы», «Общий риск транспортировки», также использовались экспертные оценки. Так, например, условные вероятности реализации риска нарушения дыхания для сатурации [0, 90] и различных типов дыхания и показателя по шкале комы Глазго, определенные экспертом, представлены на рис. 2.

Таблица 2. Априорные вероятности переменных, описывающих состояние пациента

Переменная	Состояние	Априорная вероятность
Шкала комы Глазго, баллы	[0, 8]	0.10
	[8, 11]	0.10
	[11, 13]	0.40
	[13, 15]	0.40
Тип дыхания	Spont	0.30
	SpontO2	0.40
	Apparat	0.30
Сатурация, %	[0, 90]	0.10
	[90, 93]	0.40
	[93, 100]	0.50
Артериальное давление (АД), мм рт. ст.	[0, 100]	0.30
	[100, 130]	0.40
	[130, 250]	0.30
Пульс, уд/мин	[0, 55]	0.40
	[55, 80]	0.40
	[80, 200]	0.20
Диурез, мл/ч	[0, 30]	0.50
	[30, 100]	0.40
	[100, 120]	0.10
Автотранспорт	Spec	0.99
	NotSpec	0.01
Оценка дороги	[0, 2]	0.10
	[2, 3]	0.50
	[3, 5]	0.40

Сатурация Дыхание	0 - 90											
	Spont				SpontO2				Apparat			
	0 - 8	8 - 11	11 - 13	13 - 15	0 - 8	8 - 11	11 - 13	13 - 15	0 - 8	8 - 11	11 - 13	13 - 15
Шкала Ком...												
Critical	0.9	0.9	0.9	0.8	0.9	0.9	0.9	0.8	0.6	0.6	0.5	0.5
NotCritical	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.4	0.5	0.5

Рис. 2. Фрагмент распределения априорных условных вероятностей переменной «Нарушение дыхания»

3.3. Оценка свидетельств

В общем случае свидетельство – это сообщение, подтверждающее событие. В рассматриваемой модели свидетельством считается сообщение о значениях параметров состояния здоровья пациента.

При применении интервальной шкалы оценки состояний переменных сети для оценки вероятности свидетельств предлагается применить нечеткий подход. Этот подход эффективен в задачах с нечеткой неопределенностью исходных данных, когда определить точные значения входов модели затруднительно или вовсе невозможно. В этом случае целесообразно представить входные данные в форме лингвистических переменных с экспертно определенным терм-множеством значений, описанных Л. Заде [6], в соответствии с выражением:

$$\Omega = \langle \omega, T(\omega), U, G, M(\omega) \rangle,$$

где Ω – название переменной; ω – область допустимых значений переменной; T – терм-множество значений; U – носитель; G – синтаксическое правило, порождающее термы из T ; M – семантическое правило, которое каждому лингвистическому значению из ω ставит в соответствие его содержание.

Связь количественного значения фактора с его лингвистическим описанием задается функцией принадлежности, которая задает количественную меру неопределенности принадлежности значений переменной определенному терм-состоянию на единичном интервале. Применение такого механизма формализации входных данных для модели оценивания широко распространено в разных областях. Опыт авторов нечеткой идентификации оценочных суждений преподавателей [7], экспертизы в области экономики спроса [8] и параметризации устойчивости личности [9] свидетельствует о повышении при этом точности моделирования и адекватности исследуемой модели в целом.

В данном случае обоснованность нечеткой оценки степени принадлежности свидетельства объясняется нестабильностью параметров состояния здоровья пациента, а также недостаточной уверенностью в оценке параметра в пределах границ интервалов. Предлагается применять трапецевидную форму функции принадлежности, такую чтобы граница интервалов состояний переменной со степенью принадлежности 0.5 попадала сразу в оба («соседних») интервала.

В качестве примера приведем графическое изображение функции принадлежности переменной «Артериальное давление, АД» (рис. 3). Так, например, если состояние здоровья пациента оценивается АД = 93 мм рт. ст., то $P(АД = Гипотония) = 1$, а если АД = 97 мм рт. ст., то $P(АД = Гипотония) = 0.8$, а $P(АД = Норма) = 0.2$.

Подобным же образом определены функции принадлежности всех остальных переменных сети, имеющих интервальные оценки состояний.

3.4. Программная реализация задачи

Построенная модель реализована программно [10] при помощи языка программирования Python и библиотеки PyAgum. Для написания пользовательского интерфейса использовался фреймворк Django.

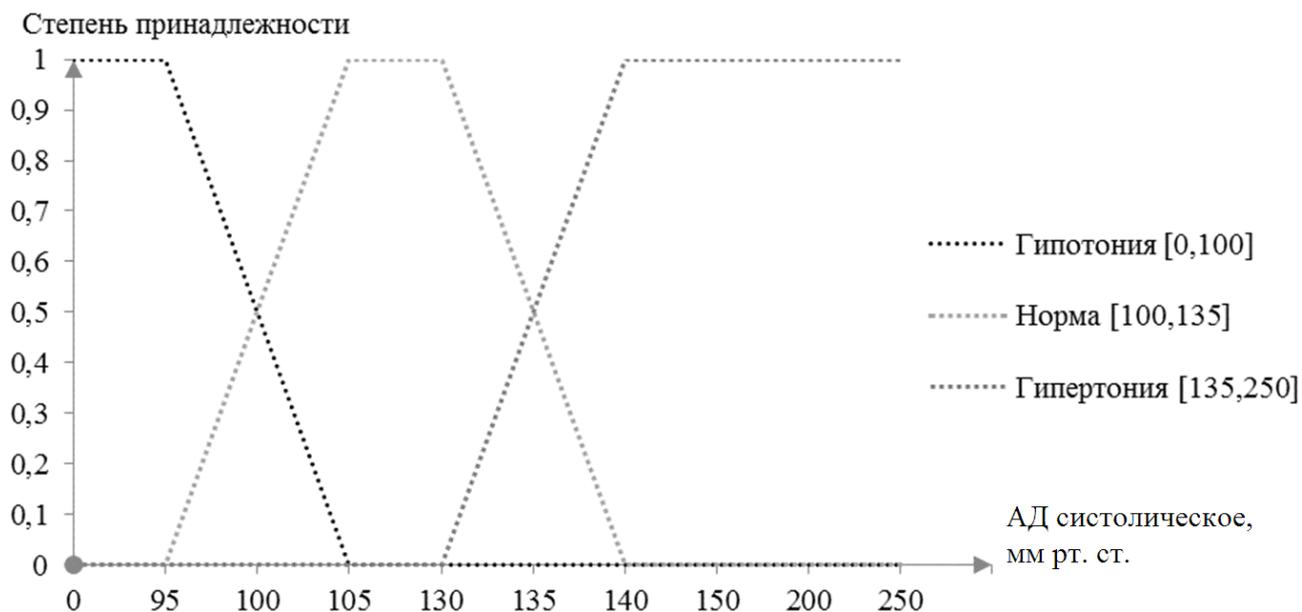


Рис. 3. Функция принадлежности переменной «Артериальное давление»

В общем виде этап создания модели состоит из следующих шагов:

- инициализация модели;
- инициализация узлов модели;
- описание взаимосвязи между узлами;
- описание априорных вероятностей состояний переменных модели;
- расчет апостериорных вероятностей состояний переменных модели.

Далее приведен программный код на языке Python, реализующий функцию принадлежности для переменной «Артериальное давление», график которой показан на рис. 3. Данная функция принимает на вход значение систолического артериального давления и на выходе формирует список, содержащий значения вероятностей нахождения в интервалах пониженного, нормального и повышенного давления, которые в дальнейшем используются как свидетельства. Например, при значении давления 95 мм рт. ст. и ниже формируется список [1, 0, 0], что свидетельствует о том, что давление пониженное. В случае, если давление 100 мм рт. ст., будет сформирован список [0.5, 0.5, 0], что свидетельствует о том, что давление можно равноуверенно считать как пониженным, так и нормальным. Для определения значений используются уравнения прямых.

```
def __get_press(self):
    semafor=0
    if self.nom.get('press', False) != False:
        pv=self.nom['press']
        semafor=1
    if semafor == 1:
        pk2=self.nom['press']
        self.param['press']=[0,0,0]
        if pk2 in range(0,95):
            self.param['press']=[1,0,0]
        if pk2 in range(95,105):
            y=-1*0.1*(pk2-95)+1
            y1=0.1*(pk2-95)
            self.param['press'][0]=y
            self.param['press'][1]=y1
        if pk2 in range(105,130):
            self.param['press']=[0,1,0]
        if pk2 in range(130,141):
            y=-1*0.1*(pk2-130)+1
            y1=0.1*(pk2-130)
```

```

self.param['press'][1]=y
self.param['press'][2]=y1
if pk2 >= 141:
    self.param['press'][2]=1
else:
    self.kolis=self.kolis+1
    self.unc_str=self.unc_str+'Нет информации о давлении.'

```

4. Апробация разработанной методики решения задачи

Рассмотрим несколько примеров решения поставленной в разделе 2 задачи оценивания рисков транспортировки больного. Для расчета используем разработанное программное средство [10], реализующее методику расчета, которая описана в разделе 3.

4.1. Примеры машинного решения задачи

Рассмотрим пример работы модели на следующих тестовых данных. Больной 53 года, ярко выраженная сердечная недостаточность. Требуется эвакуация. Ключевые показатели состояния здоровья (свидетельства): пульс: 68 уд/мин; кома по шкале комы Глазго: 8; дыхание: аппаратное; сатурация: 90 %; артериальное давление (систолическое): 100 мм рт. ст.; диурез: 36 мл/ч; оценка дороги, R_o : 2.3 (расстояние эвакуации – 200 км, покрытие дороги – оценка 3); автотранспорт: специализированный. Введём свидетельства в модель в программной среде «Hugin» (рис. 4). Результат работы модели представлен на рис. 5.

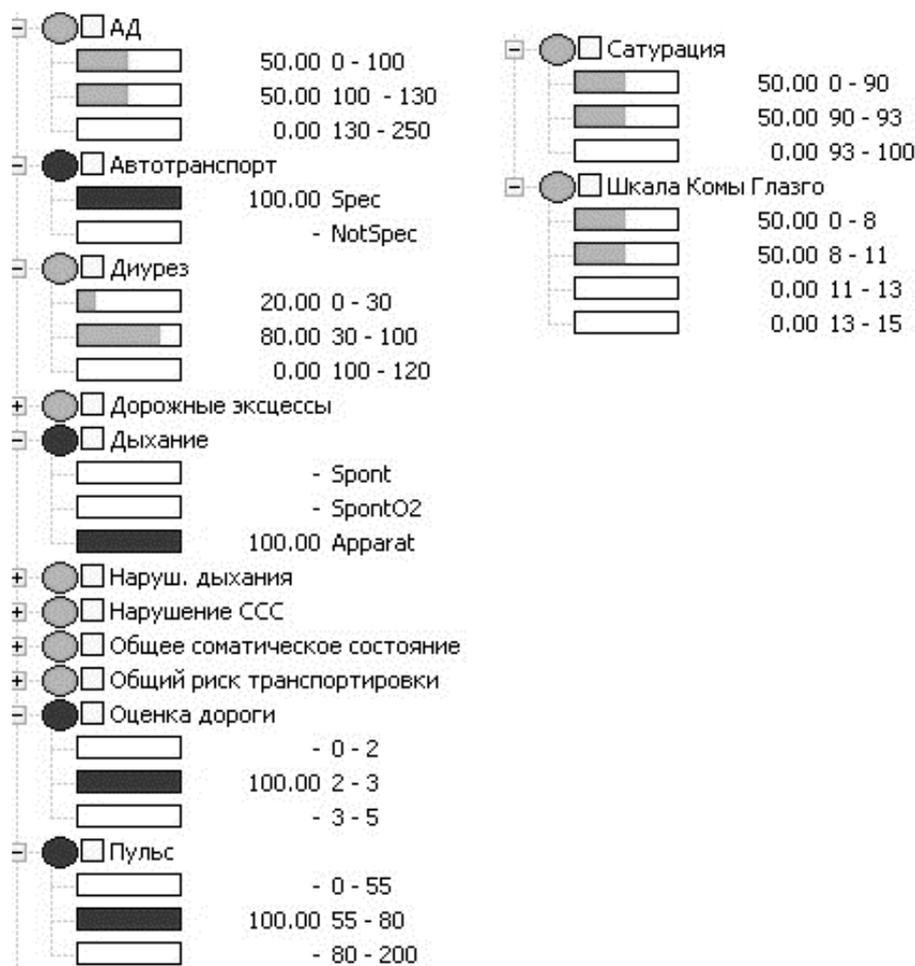


Рис. 4. Свидетельства, поступающие в модель БС, построенную в Hugin (пример № 1) (узлы, выделенные чёрным цветом, указывают на ввод свидетельства о его состоянии в сеть)

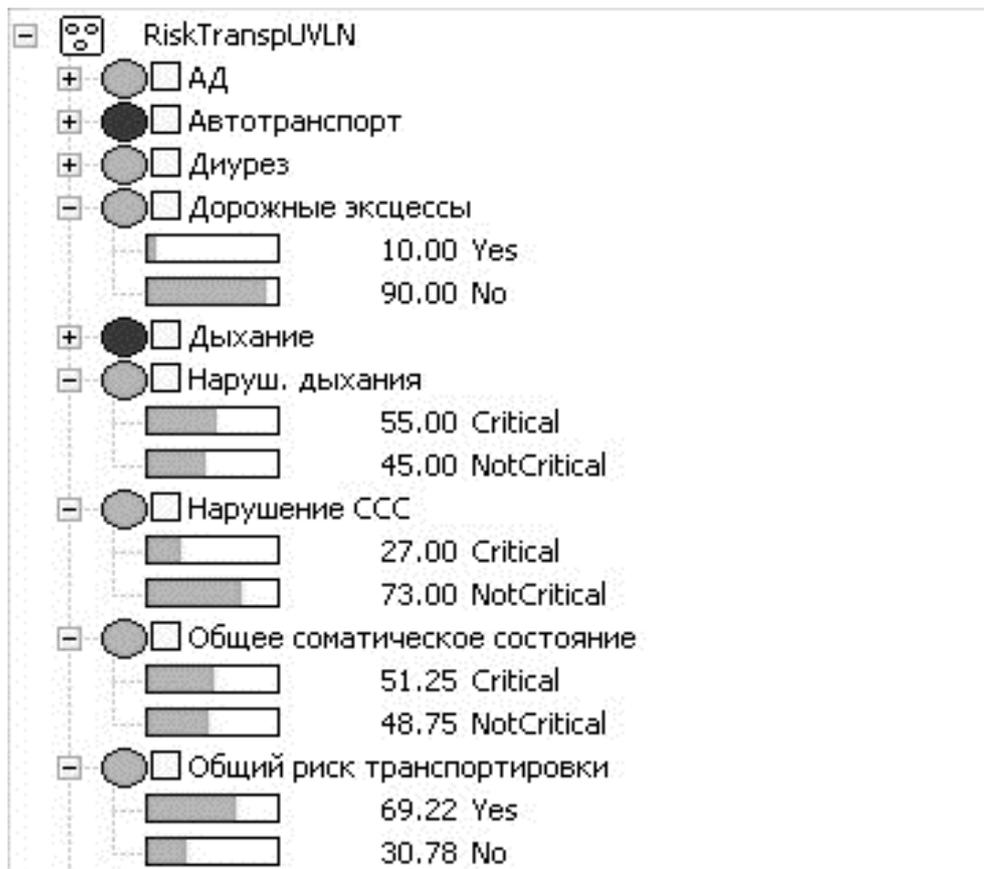


Рис. 5. Результат работы модели БС, построенной в Hugin (пример № 1)

В свою очередь, работа модели, построенной с помощью библиотеки «PyArgum», представлена на рис. 6 и 7. На рис. 6 показана форма для ввода исходных данных. На рис. 7 представлены результаты расчета рисков транспортировки для пациента «Больной-1».

Рис. 6. Свидетельства, поступающие в модель БС (авторская программная разработка, пример № 1)

Оценка рисков:

Вероятность дыхательных рисков: 55.0%
 Вероятность сердечно-сосудистых рисков: 27.0%
 Вероятность автодорожных рисков: 10.0%
 Вероятность общесоматических рисков: 51.25%
 Общая вероятность риска транспортировки: 69.219%

Рис. 7. Результат работы модели БС (авторская программная разработка, пример № 1)

Для сравнения осуществлено тестирование работы модели на контрпримере – относительно здоровом пациенте в возрасте 43 лет с немного повышенным артериальным давлением. Результаты представлены на рис. 8 и 9.

Анализ риска медицинской эвакуации

Фамилия: Больной-2

Давление систолическое: 145

Тип дыхания: Спонтанное

Уровень комы по шкале комы Глазго: 15

Сатурация (%): 100

Пульс (уд/мин): 65

Диурез (мл/час): 36

Тип автотранспорта: Специализированный

Расстояние эвакуации (макс 750 км.): 100

Оценка дорожного покрытия (0-5): 5

РАССЧИТАТЬ

Рис. 8. Свидетельства, поступающие в модель БС (авторская программная разработка, пример № 2)

Оценка рисков:

Вероятность дыхательных рисков: 10.0%
 Вероятность сердечно-сосудистых рисков: 10.0%
 Вероятность автодорожных рисков: 1.0%
 Вероятность общесоматических рисков: 2.0%
 Общая вероятность риска транспортировки: 23.353%

Рис. 9. Результат работы модели БС (авторская программная разработка, пример № 2)

4.2. Анализ полученных результатов

Оценка модели вероятности ухудшения состояния пациента при транспортировке в рассматриваемом тестовом примере № 1 составляет 69.2 %. Риск транспортировки идентифицируется как высокий. В этом случае необходима работа с пациентом до транспортировки с целью приведения параметров состояния его здоровья к допустимым.

Здесь важно еще раз особо подчеркнуть, что на данном этапе исследования при построении системы оценки рисков медицинской эвакуации реанимационных пациентов мы находимся как в условиях неопределённости оценки состояния пациента, так и в условиях информационной неопределённости в том смысле, что мы не имеем (по тем или иным причинам) статистических данных, необходимых для применения методов, например, машинного обучения. Поэтому и был осуществлён методический выбор в пользу подходов, которые поддерживают моделирование даже таких ситуаций, когда нет никаких данных, кроме субъективных экспертных оценок (как в рассматриваемом случае) – байесовских сетей доверия. В этой связи и оценка качества работы модели может осуществляться только экспертно, на рациональном уровне. Так, в приведенном примере № 1 показатель по шкале комы Глазго низкий (8 баллов, что соответствует состоянию комы), низкая сатурация (90 %, минимально допустимая – 93 %), а также умеренная стартовая гипотония являются неблагоприятными начальными условиями для транспортировки. Высокая модельная оценка риска транспортировки пациента данного тестового примера (69.2 %) нашла подтверждение практикующими врачами, непосредственно осуществляющими медицинскую эвакуацию (заметим, что соавтор предлагаемой разработки является действующим врачом анестезиологом-реаниматологом).

Кроме того, модель адекватно реагирует на изменение входных параметров. На примере № 2 видно, что модель даёт достаточно низкую оценку риска ухудшения состояния здоровья относительно здорового пациента – 23.4 % (несмотря на высокие оценки априорных вероятностей, описывающих то обстоятельство, что любая медицинская эвакуация несёт в себе множество рисков событий). Это дополнительно подтверждает адекватность разработанной модельной конструкции.

5. Заключение

В результате проведенного исследования была продемонстрирована возможность численной оценки риска медицинской транспортировки, предложен метод его идентификации, что в совокупности с отдаленностью населенных пунктов, а также недостаточностью оснащения многих сельских ЛПУ техникой и кадровым составом можно считать важным инструментом методической поддержки практической деятельности бригад, проводящих транспортировку больных. Кроме того, предложенный в работе метод нечеткого оценивания свидетельств о параметрах состояния пациента также является в достаточной степени оригинальным.

Однако стоит отметить, что представленная в исследовании модель лишь оконтуривает возможности выбранного механизма расчета и формализует понятие риска транспортировки, показывает возможность автоматизации расчета. Так, рассматриваемая модель не учитывает параметры состояния пациента, относящиеся к узкоспециальным дисциплинам (неврология, хирургия, урология и т.д.), которые могут оказывать значительное влияние на потенциальные факторы риска. Кроме того, можно выделить гораздо больше видов возможных рисков транспортировки пациента, каждый из которых зависит от состояния конкретного человека: его сопутствующих патологий, непосредственной патологии, вызвавшей тяжесть состояния, характеристик конкретной центральной районной больницы. Именно поэтому очевидна необходимость продолжения исследования данной предметной области и привлечения к исследованию врачей узких специальностей.

Литература

1. *Гармаш О. А., Банин И. Н., Попов В. П., Баранова Н. Н. и др.* Организация оказания экстренной консультативной медицинской помощи и проведения медицинской эвакуации. М.: ФГБУ «Всероссийский центр медицины катастроф «Защита», 2015. 173 с.
2. *Rocco D. D., Pasquier M., Albrecht E., Carron P.-N., Dami F.* HEMS inter-facility transfer: a case-mix analysis *ВМС // Emergency Medicine*. [Электронный ресурс]. URL: <https://bmcemergmed.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s12873-018-0163-8.pdf> (дата обращения: 15.03.2022).
3. *Димитров Л. К., Голубева О. А.* Применение байесовской сети в дифференциальной диагностике артериальной гипертензии // *Материалы III Международной научной конференции «Технические науки в России и за рубежом»*, Т. 1. М.: Буки-Веди, 2014. С. 4–14.
4. *Литвиненко Н. Г., Литвиненко А. Г., Мамырбаев О. Ж., Шаяхметова А. С.* AgenaRisk. Работа с Байесовскими сетями. Алматы: Институт информационных и вычислительных технологий, 2019. 233 с.
5. *Шевцова Ю. В.* Байесовы технологии: их реализация в программной среде Hugin и применение в операционном риск-менеджменте в телекоммуникациях: учебное пособие. 2-е изд., перераб. и доп. Новосибирск: СибГУТИ, 2015. 90 с.
6. *Zadeh L. A.* Fuzzy sets // *Information and Control*. 1965. Vol. 8, Is. 3. P. 338–353.
7. *Куңц Е. Ю., Полетайкин А. Н., Шевцова Ю. В.* Реализация модели нечеткого оценивания сформированности компетенций с помощью пакета MATLAB // *Новые информационные технологии в образовании и науке*. 2020. № 3. С. 66–72.
8. *Полетайкин А. Н.* Гибридный подход к построению системы поддержки принятия решений при продвижении товаров на региональный рынок // *Вестник СибГУТИ*. 2015. № 1. С. 45–59.
9. *Полетайкин А. Н., Белоус С. А.* Нечеткая методика оценивания психологической устойчивости личности к негативному инфовоздействию // *Вестник СибГУТИ*. 2017. № 3. С. 21–34.
10. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2022662852 Российская Федерация. Программа для оценивания риска медицинских эвакуаций автомобильным транспортом / Ю. В. Шевцова, Д. А. Демчук, А. Н. Полетайкин, К. А. Демчук; заявитель и правообладатель Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики; заявл. 23.06.2022; опублик. 07.07.2022.

Демчук Дмитрий Анатольевич

инженер, ООО «Ланит технологии» (656055, Барнаул, ул. Мусоргского, д. 4, кв. 3), e-mail: ddemchuk@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0003-2884-5868.

Демчук Константин Анатольевич

врач анестезиолог-реаниматолог отделения анестезиологии и реанимации № 2 КГБУЗ «Алтайский краевой кардиологический диспансер» (656055, Барнаул, ул. Малахова, 46), тел. (385) 250-89-50, e-mail: dka_86@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1079-4660.

Шевцова Юлия Владимировна

к.т.н., доцент, доцент кафедры математического моделирования и цифрового развития бизнес-систем СибГУТИ (630102, Новосибирск, ул. Кирова, 86), тел. (383) 269-82-78, e-mail: shevcova_yuliya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7464-068X.

Полетайкин Алексей Николаевич

к.т.н., доцент, доцент кафедры информационных технологий, Кубанский государственный университет (350040, Краснодар, ул. Ставропольская, 149), тел. (861) 219-95-77, e-mail: alex.poletaykin@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5128-1952.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Вклад соавторов: Каждый автор внес равную долю участия как во все этапы проводимого теоретического исследования, так и при написании разделов данной статьи.

Bayesian Approach for Numerical Calculation of the Risk of Medical Evacuation by Vehicles

Dmitry A. Demchuk¹, Konstantin A. Demchuk², Yuliya V. Shevtsova³, Aleksey N. Poletaikin^{3,4}

¹ LLC "Lanit technology", Barnaul, Russia

² State County Budget Organization for Health, Barnaul, Russia

³ Siberian State University of Telecommunications and Information Science (SibSUTIS)

⁴ Kuban State University (KubSU, Krasnodar, Russia).

Abstract: An original logical-probabilistic method for calculating the risk of critical patients' medical evacuation by vehicles is proposed. A comprehensive estimation of road conditions and risk factors for transporting an intensive care patient as well as the calculation of a formal quantitative measure of transportation risk by the Bayesian inference method is considered. An effective instrument for estimating transportation risks for management decision making is developed.

Keywords: Bayesian belief networks, intensive care patient, road conditions, transportation risks, risk factors, identification of risk factors, medical transportation, Bayes formula, patient's condition, Python, PyAgrum.

For citation: Demchuk D. A., Demchuk K. A., Shevtsova Yu. V., Poletaikin A. N. Bayesian approach for numerical calculation of the risk of medical evacuation by vehicles (in Russian). *Vestnik SibGUTI*, 2023, vol. 17, no. 1. pp. 18-32. <https://doi.org/10.55648/1998-6920-2023-17-1-18-32>.



Content is available under the license
Creative Commons Attribution 4.0
License

© Demchuk D. A., Demchuk K. A.,
Shevtsova Yu. V., Poletaikin A. N., 2023

The article was submitted: 30.04.2022;
revised version: 07.11.2022;
accepted for publication 06.12.2022.

References

1. O. A. Garmash, I. N. Banin, V. P. Popov, N. N. Baranova, A. V. Popov, I. P. Shilkin *Organizatsiya okazaniya ekstremnoy konsul'tativnoy meditsinskoj pomoshchi i provedeniya meditsinskoj evakuatsii* [Organization of emergency medical care and medical evacuation]. Moscow, FGBU «Vserossiyskiy tsentr meditsiny katastrof «Zashchita» 2015. 173 p.
2. D. D. Rocco, M. Pasquier, E. Albrecht, P.-N. Carron, F. Dami HEMS inter-facility transfer: a case-mix analysis. available at: <https://bmccemergmed.biomedcentral.com/track/pdf/10.1186/s12873-018-0163-8.pdf>.
3. Dimitrov L. K., Golubeva O. A. Primeneniye bayyesovskoy seti v differentsial'noy diagnostike arterial'noy gipertenzii [Application of the Bayesian network in the differential diagnosis of arterial hypertension]. *Tekhnicheskiye nauki v Rossii i za rubezhom: materialy III Mezhdunar. nauch. Konf*, vol. 1, Moscow: Buki-Vedi, 2014, pp. 4–14.
4. N. G. Litvinenko, A. G. Litvinenko, O. Zh. Mamyrbayev, A. S. Shayakhmetova *AgenaRisk. Rabota s Bayyesovskimi setyami* [AgenaRisk. Work with Bayesian networks]. Almaty, 2019. 233 p.
5. Shevtsova Yu. V. *Bayyesovy tekhnologii: ikh realizatsiya v programmnoy srede Hugin i primeneniye v operatsionnom risk-menedzhmente v telekommunikatsiyakh* [Bayesian technologies: their implementation in the Hugin software environment and application in operational risk management in telecommunications]. Sibirskiy gosudarstvennyy universitet telekommunikatsiy i informatiki, Novosibirsk, 2015. 90 p.
6. L.A. Zadeh. Fuzzy sets. *Information and Control*, vol. 8, iss. 3, 1965, pp. 338-353.
7. Kunts E. Yu., Poletaikin A. N., Shevtsova Yu. V. Realizatsiya modeli nechetkogo otsenivaniya sformirovannosti kompetentsiy s pomoshch'yu paketa MATLAB [Implementation of a model of fuzzy assessment of the formation of competencies using the MATLAB package]. *Novyye informatsionnyye tekhnologii v obrazovanii i nauke*, Yekaterinburg: RGPPU, 2020, no. 3. pp. 66-72.
8. Poletaikin A.N. Gibridnyy podkhod k postroyeniyu sistemy podderzhki prinyatiya resheniy pri prodvizhenii tovarov na regional'nyy rynek [A hybrid approach to building a decision support system when promoting goods to the regional market]. *Vestnik SibGUTI*, Novosibirsk, 2015, no. 1. pp. 45-59.
9. Poletaikin A.N., Belous S.A. Nechetkaya metodika otsenivaniya psikhologicheskoy ustoychivosti lichnosti k negativnomu infovozdeystviyu [Fuzzy methodology for assessing the psychological stability of a person to negative information impact]. *Vestnik SibGUTI*, Novosibirsk, 2017, no. 3, pp. 21-34.
10. Yu.V. Shevtsova, D.A. Demchuk, A.N. Poletaikin, K.A. Demchuk *Programma dlya otsenivaniya riska meditsinskikh evakuatsiy avtomobil'nyim transportom* [Program for assessing the risk of medical evacuations by road] Certificate of state registration of the software 2022662852 RU, App. and legal Sib. state University of Telecommunications and Informatics, dec. 06.23.2022, publ. 07.07.2022, Bull. no. 7-2022.

Dmitry A. Demchuk

Engineer (LLC "Lanit technology", Barnaul, Russia), ddemchuk@inbox.ru, ORCID ID: 0000-0003-2884-5868.

Konstantin A. Demchuk

Anesthesiologist-resuscitator of the department of anesthesiology and resuscitation №2 cardiological dispensary of Altai region (Regional State Budget Organization of Health care, Barnaul, Russia), dka_86@mail.ru, ORCID ID: 0000-0003-1079-4660.

Yuliya V. Shevtsova

Cand. of Sci. (Engineering), Assistant professor, Siberian State University of Telecommunications and Information Science (SibSUTIS, Novosibirsk, Russia). shevcova_yuliya@mail.ru, ORCID ID: 0000-0002-7464-068X, Scopus AuthorID: 56418422800, ResearcherID: ABG-4620-2020.

Aleksey N. Poletaikin

Cand. of Sci. (Engineering), Assistant professor, Kuban State University (KubSU, Krasnodar, Russia), Siberian State University of Telecommunications and Information Science (SibSUTIS, Novosibirsk, Russia). alex.poletaykin@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-5128-1952, Scopus AuthorID: 57213829361, ResearcherID: ABF-6799-2020.