

*Запропоновано концепцію побудови ІВС процесу реабілітації на основі використання наукових основ виміральної техніки, експериментальних досліджень і моделювання. Після проведення лікувальних заходів ІВС включає в себе функції вимірювання, визначення кількісних показників, аналізу стану об'єктів та передачі особі, що приймає рішення, для оцінки розвитку процесу реабілітації, прийняття рішення, забезпечення ефективності*

*Ключові слова: S-контроль вигнутості хребта, R-контроль навантажень, критерій максимальної правдоподібності, наслідки травматизму, період реабілітації*

*Предложена концепция построения ИИС процесса реабилитации на основе использования научных основ измерительной техники, экспериментальных исследований и моделирования. После проведения лечебных мероприятий ИИС включает в себя функции измерения, определения количественных показателей, анализа состояния объектов и передачи лицу, принимающему решение, для оценки развития процесса реабилитации, принятия решения, обеспечения эффективности*

*Ключевые слова: S-контроль изогнутости позвоночника, R-контроль нагрузок, критерий максимального правдоподобия, последствия травматизма, период реабилитации*

# КОНЦЕПЦИЯ ЭВОЛЮЦИИ СИНТЕЗА МУЛЬТИАГЕНТНОЙ ИНФОРМАЦИОННО- ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПРОЦЕССА РЕАБИЛИТАЦИИ ЧЕЛОВЕКА ПОСЛЕ ТРАВМАТИЗМА

**Е. С. Нестругина**

Ассистент

Кафедра радиотехники и защиты информации  
Донецкий национальный технический университет  
ул. Высоцкого, 13/2, г. Донецк, Украина, 83117

E-mail: tec4@mail.ru

**Е. С. Ларина**

Кандидат технических наук, старший научный сотрудник\*

E-mail: K.Kurcova@mail.ru

**Н. И. Чичикало**

Доктор технических наук, профессор\*

E-mail: Chichikalo@rambler.ru

\*Кафедра "Электронные системы"

Донецкий национальный технический университет  
ул. Артема, 118/6, г. Донецк, Украина, 83048

## 1. Введение

Диагностика нарушений двигательной функции и определение динамики её развития являются существенной проблемой медицинской реабилитации органов опоры и движения после травматизма. С целью повышения эффективности и качества оценки функционального состояния опорно-двигательной системы человека (ОДС), получения информации о текущих траекториях движения отдельных, в том числе травмированных, составных частей тела человека, актуальной задачей является необходимость разработки ИИС контроля ОДС двигательных функций человека.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Оценка функционального состояния ОДС в результате травматизма является сложной задачей. Значительная часть распространённых методов клинического исследования основана на использовании органов чувств.

Обычно выполняется визуальный осмотр и оценка вида ходьбы и состояния пациента. Такая оценка является субъективной характеристикой, зависящей от опыта и знаний специалиста. В травматологии – ортопедии дополнительно производятся измерения длины и объемов конечностей (антропометрия); регистрация электрической активности мышц (электромиография), определение активного и пассивного объема движений в суставах (гониометрия); мышечной силы (динамометрия).

В ряде случаев двигательная симптоматика является ранним индикатором ряда заболеваний. Имеющиеся в распоряжении врача клинические средства определения нарушений двигательной функции человека не позволяют получить точную количественную и качественную информацию, особенно об эффективности лечебных мероприятий. Поиск путей повышения эффективности реабилитации пациентов, страдающих различной патологией, связанной с нарушением функции ОДС, привел к необходимости клинического анализа движений, позволяющего получить врачу функциональные данные о той функции, которая практически не поддается чувственному восприятию

или оценке простыми клиническими способами. Кроме того, отсутствуют показатели, позволяющие оценивать эффективность лекарственных препаратов, принимаемых пациентом в период реабилитации. Несмотря на активное развитие клинических биомеханических исследований, их диагностические возможности остаются неопределёнными. Двигательная патология практически не может быть объективно определена качественно и количественно физическим обследованием пациента с помощью традиционного клинического исследования посредством органов чувств врача, без применения специальной аппаратуры [1-3].

### 3. Цель и постановка задачи исследований

Целью данных исследований является создание мультиагентной информационно-измерительной системы контроля процесса реабилитации двигательной функции человека, позволяющей делать выводы об эффективности лекарственных препаратов и мероприятий путем обеспечение контроля состояния ОДС и двигательных функций человека в процессе реабилитации после травматизма.

### 4. Изложение основного материала

Травматизм – это случайная ситуация или результат действия неблагоприятных факторов, последствием которых является нарушение нормальной жизнедеятельности человека.

Основные требования, предъявляемые к эффективной системе оперативного управления процессом реабилитации (ПР) человека после травматизма:

- достижение высокой мобильности человека;
- способность правильно и своевременно реагировать на изменение ситуации в результате применения лекарственных препаратов и лечебных мероприятий (ЛМ);
- способность к адаптации к тактике применения ЛМ;
- изменение планов и целей действий в процессе реабилитации;
- способность ЛПР к принятию интеллектуальных управленческих решений в условиях неопределенности и риска с правильной оценкой последствий от реализации принятых ЛМ;
- способность быстро и точно обрабатывать поступающую информацию;
- способность достаточно точно прогнозировать развитие ПР и предвидеть моменты, связанные с чрезмерным повышением риска для здоровья.

Для оперативного управления ПР рекомендуется использование сценарного подхода к ситуационному методу развития ПР. Также необходима динамическая оценка текущей и анализ новой ситуации. Поэтому актуальными задачами являются:

- построение концептуальной модели, учитывающей динамику развития ПР;
- оценка влияния на качество управления внутренними и внешними возмущающими факторами ПР;
- оценка ИИС эффективности применения лекарственных препаратов и лечебных мероприятий.

Реализация концепции требует решения следующих основных задач:

- формирование качественно новой цели достижения эффективности процесса реабилитации;
- разработка методов количественной оценки параметров посредством подсистемы S - контроля и R - контроля;
- переориентация системы ПР: от контроля, сконцентрированного на лекарственных препаратах и лечебных мероприятиях к контролю за воздействием этих факторов на человека.

На этапе реабилитации ЛПР следует:

- определить и проанализировать уровень травматизма, и разработать методику реабилитации;
- определить медицинских специалистов для проведения ПР;
- разработать концепцию определения оптимального времени клинических обследований индивидуума после травматизма;
- указать варианты (в том числе ограничения исходных данных и финансовых ресурсов), определяющих глубину, полноту и детальность проводимого анализа ПР;
- определить наиболее эффективный метод.

При обобщении оценок эффективности следует проанализировать неопределенность и точность полученных результатов. Источниками неопределенности может быть неполнота статистической информации и информации о законах распределения, принимаемые предположения и допущения используемых моделей. Источники неопределенности следует идентифицировать, оценить и представить в результатах.

При моделировании процессов реабилитации наиболее приемлемы методы основанные на виртуальных моделях. Применительно к моделям динамических процессов можно выделить два направления:

- иерархия по вертикали, в которой деление моделей по уровням осуществляется в зависимости от структурно-функциональных особенностей системы;
- иерархия по горизонтали, в которой деление моделей по уровням осуществляется в зависимости от методов их исследования.

В иерархии по вертикали можно выделить три уровня моделей:

1. Уровень базовых моделей, содержащий простейшие модели, на основе которых строятся и могут быть рассчитаны более сложные модели второго и третьего уровней.

2. Уровень локальных моделей, отображающих отдельные особенности структурно-функциональной организации систем и позволяющих решать частные задачи анализа и синтеза.

3. Уровень глобальных моделей, наиболее полно отображающих структурные и функциональные особенности организации исследуемых подсистем и представляющих собой модели с высокой степенью детализации.

В иерархии по горизонтали можно выделить четыре уровня моделей в зависимости от методов их исследования:

1. Модели, поддающиеся точному расчету, позволяющие получить результаты либо аналитически в явном виде, либо численно с использованием численных методов анализа.

2. Модели, поддающиеся приближенному аналитическому расчету с приемлемой для инженерных применений точностью, причем результаты могут быть получены либо в явном виде, либо в виде границ (верхней и нижней).

3. Модели, требующие применения статистических методов расчета, основанных на имитационном моделировании.

4. Модели, использующие аналитико-имитационные методы расчета.

5. Построение концептуальной модели (КМ) процесса реабилитации (ПР) человека после травматизма (ЧпТ).

Концептуальная модель должна учитывать быструю изменчивость ОДС человека, что позволяет определять наступление проблемных ситуаций и оценивать последствия от принятых лекарственных препаратов и лечебных мероприятий.

Постановка задачи должна предусматривать выполнение следующих функций: обеспечить непрерывный сбор и обработку информации о положении сегментов позвоночника и об уровне асимметрии походки; структурировать знания о возможных отклонениях контролируемых параметров; построить концептуальную модель; выполнить структурный анализ, и структурно-функциональную декомпозицию КМ; выполнить моделирование вариантов отображения информации, на основании комплексного анализа результатов моделирования выдать информацию для принятия решения.

На уровне системного исследования КМ ПР ЧпТ выполняются следующие подэтапы:

1. Выявление параметров, характеризующих состояние ЧпТ.

2. Выявление параметров, характеризующих воздействие внешней среды.

Элементы представляются в КМ как множество концептов  $C^{EL} = \{C_i^{EL}\}$ .

Каждый из концептов характеризуется своей переменной  $X_i^{EL}$ , отображающей состояние концепта (далее

– переменной состояния). Отличительная особенность КМ – то, что множество  $C^{EL}$  может содержать не только физические элементы, но и социально-экономические категории, влияющие на безопасность человека. Процесс реабилитации невозможен без выработки специальных информационных решений.

Элементы, функционирование которых потенциально предполагает наличие опасности представлены в табл. 1.

Выполним построение разработанной системной модели (СМ) процесса ликвидации последствий травматизма (ПТ).

Первый этап. Для построения СМ необходимо объяснить и связать предпосылки, механизмы возникновения и основные фазы ПР, локализации и ликвидации последствий травматизма.

СМ позволяет классифицировать текущую фазу ПР, на качественном уровне оценивать эволюцию функционального состояния ОДС, качественно оценить результаты проведения лечебно-методических мероприятий на основании результатов работы ИИС.

СМ процесса реабилитации – взаимосвязанные подсистемы, представленные в виде триады – графа с тремя вершинами (рис. 1).

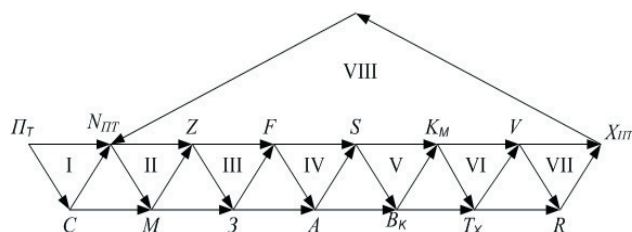


Рис. 1. Системная модель процесса ликвидации ПТ

Каждой вершине соответствует определенное множество объектов, а ребрам соответствуют отношения между этими объектами.

Таблица 1

Характеристика КМ

Множество концептов	Переменные компонентов	Примечание
$C^{EL} = \{C_i^{EL}\}$	$X_i^{EL}$	Возможные источники информации о процессе реабилитации: о положении сегментов позвоночного столба, об асимметрии походки (величине и местоположении равнодействующей сил на опорные точки)
$C^U = \{C_i^U\}$	$X_i^U$	Возмущающие факторы, влияющие на ПТ: Внутренние: биоритм индивидуума, необъективная оценка текущего состояния опасных факторов. Внешние: климатические условия, стихийные природные явления, непредвиденные неблагоприятные события.
$C^G = \{C_i^G\}$	$X_i^G$	Множество лекарственных препаратов и мероприятий
$\{C_k^R\}$		Множество возможных информационных решений в КМ
$C^R$	$W_{ij}$	Концепты $C^R$ выполняют функции элементов воздействия на связи $W_{ij}$ между концептами
$M = \{C^{EL}, C^U, C^G, C^R\}$		Формирование КМ с достаточным количеством концептов
$\{C^{EL}, C^U, C^G\}^1$		Формирование перечня концептов ЛПР на основе знаний и представлений
	$\{C^{EL}, C^U, C^G\}^0$	Формирование перечня концептов экспертами для возможного контролирования развития ПР.

СМ используется для проведения системного анализа ликвидации ПТ.

Требования к формированию триад (табл. 2).

1. Связь элементов триад друг с другом соотношением, видом деятельности или функциональной зависимостью.

2. Элементы триад должны быть адекватны друг другу, то есть, соответствовать друг другу по какому-либо принципу и отображаться друг на друга.

Таблица 2

	$a_0 : ПТ \rightarrow N_{ПТ} ;$ $a_1 : ПТ \rightarrow C ;$ $a_2 : C \rightarrow N_{ПТ}$	<p><b>Первая триада (1Т)</b> отображает возникшую потребность ликвидации последствий травматизма (ПТ). Множество ПТ потребностей, связанных с ликвидацией ПТ – N<sub>ПТ</sub>. Также множество C концепций (методик) по ликвидации множества N<sub>ПТ</sub>, т. е., по удовлетворению потребностей. При этом одно множество может быть отображено на другое, и обратно: <math>a_2^{-1} : N_{ПТ} \rightarrow C</math></p>
	$\beta_0 : N_{ПТ} \rightarrow Z ;$ $\beta_1 : N_{ПТ} \rightarrow M ;$ $\beta_2 : M \rightarrow Z$	<p><b>Вторая триада. (2Т)</b> На основе множества N<sub>ПТ</sub> формирует множество Z целей, связанных с ликвидацией последствий травматизма ПТ, а множество M отражает множество препаратов и мероприятий, которые необходимо решить для достижения множества принятых лечебных целей Z. 1Т и 2Т реализуется на основе опыта, знаний и интеллекта медицинского специалиста (ЛПР), которые отражаются в форме экспертных систем. Трудности: Z иерархична, динамична, приоритеты подцелей могут меняться в процессе лечения и ликвидации ПТ непредвиденным образом.</p>
	$j_0 : Z \rightarrow F ;$ $j_1 : Z \rightarrow 3 ;$ $j_2 : 3 \rightarrow F$	<p><b>Третья триада. (3Т)</b> переводит множество Z на множество F функций для достижения Z. Конкретизируют Z через множество 3 – задач, отражающих подцели в качественном и в количественных отношениях, а также в пространстве и во времени. F после проведения лечебных мероприятий включают в себя функции, измерения, определения количественных показателей и анализа состояния объектов и передачи ЛПР для оценки развития ПТ, принятия решения, обеспечения эффективности.</p>
	$k_0 : F \rightarrow S ;$ $k_1 : F \rightarrow A ;$ $k_2 : A \rightarrow S$	<p><b>Четвертая триада. (4Т)</b> отображает необходимость создания множества S функциональных подсистем (ФП-агентов: – S-контроля, R-контроля) для реализации F функций измерения S-изогнутости позвоночного столба и R-контроля местоположения и уровня равнодействующих сил нижних конечностей. При этом, каждая подсистема должна иметь определенную структуру, алгоритмы. Существует проблема построения множества A алгоритмов (структур) и выбрать соответствующую функцию – критерий максимального правдоподобия, выполняемый в автоматизированном или других режимах.</p>
	$\epsilon_0 : S \rightarrow K_m ;$ $\epsilon_1 : S \rightarrow B_k ;$ $\epsilon_2 : B_k \rightarrow K_m$	<p><b>Пятая триада. (5Т)</b> отображает множество S функциональных подсистем на множество K<sub>м</sub> ее компоновок (структур с 4-мя, с 7-ми, с 13-ти и 24-мя контролируруемыми сегментами позвоночника и структур определения равнодействующих сил на обе опорные точки – ноги) через множество B<sub>к</sub> вариантов подсистем, реализованных в инженерном комплексе LabWIEV. Каждый B<sub>к</sub> отображает конкретные элементы состава: измерительных средств, способов реализации, информационных технологий и систем отображения. Задача выбора варианта базируется на основе оптимизации компоновки по выбранному критерию с использованием информационных, функциональных и динамических моделей.</p>
	$\lambda_0 : K_m \rightarrow V ;$ $\lambda_1 : K_m \rightarrow T_x ;$ $\lambda_2 : T_x \rightarrow V$	<p><b>Шестая триада. (6Т)</b> отображает множество K<sub>м</sub> компоновок функциональных систем на множество V работ (мероприятий), которые необходимо выполнить с использованием множества T<sub>х</sub> располагаемых технологий, согласованных с возможностями функциональных подсистем и с особенностями выполняемых мероприятий. Технология должна быть информативной, ресурсосберегающей и безопасной.</p>
	$\pi_0 : V \rightarrow X_{ПТ} ;$ $\pi_1 : V \rightarrow R ;$ $\pi_2 : R \rightarrow X_{ПТ}$	<p><b>Седьмая триада. (7Т)</b> На основе множества V выполненных работ (мероприятий) формирует множество X<sub>ПТ</sub> новых состояний процесса развития ПТ благодаря управляющим факторам путем расходования множества R располагаемых ресурсов, выбранных из условия либо наилучшего и быстрого перевода ПТ в новое оздоровительное состояние либо снижения риска возникновения ПТ.</p>
	$\rho_0 : X_{ПТ} \rightarrow N_{ПТ} ;$ $\rho_1 : X_{ПТ} \rightarrow D ;$ $\rho_2 : D \rightarrow N_{ПТ}$	<p><b>Восьмая триада. (8Т)</b> отображает множество X<sub>ПТ</sub> новых ситуаций на множество N<sub>ПТ</sub> старых ПТ через множество D оценок новых состояний, позволяющих судить об эффективности всех лекарственных препаратов и мероприятий по ликвидации ПТ. Оценка эффективности может быть произведена по критерию, характеризующему степень близости ПТ к безопасной (желаемой) ситуации.</p>

Элементы множества нижнего уровня образуют новые триады – объекты дальнейших исследований.

Системная триадная модель охватывает и объединяет в единую систему все виды лечебных и со-

путствующих процедур, связанных с процессами реабилитации человека ПТ.

Выполним построение мультиагентной системной модели ликвидации ПТ. На концептуальном уровне можно выделить некоторую инвариантную часть.

1. Объект динамичен, его изменения происходят в пространстве и во времени.

2. Процесс взаимодействия человека и ЛПР происходит на конечном интервале времени и в локальном пространстве.

3. Контролируемые объекты (сегменты позвоночника, нижние конечности) имеют множество переменных (параметров), которые характеризуют их состояние и которые могут быть измерены с заданной точностью.

4. Существуют факторы, оказывающие целенаправленное воздействие на процесс реабилитации и используемые при лечении:

- либо для уменьшения лекарственных препаратов,
- либо для изменения тактики лечебных мероприятий.

5. В составе травмируемого существует организационно-лечебная система, которая оперативно на основе получаемой информации о состоянии обоих подсистем и располагаемых ресурсов может своевременно выработать и реализовать такие ЛМ, которые изменят ПР в желаемом направлении.

Отметим некоторую особенность ликвидации ПТ. Они приводят к последовательному возникновению нескольких явлений, связанных с потерей здоровья, что усиливает их отрицательное действие. Например, сдвиг определенного сегмента позвоночного столба – к возникновению болезни соответствующих органов человека; сдвиг в тазобедренном суставе – к неправильной передаче усилий на опорные точки нижних конечностей, что в свою очередь приводит к заболеваниям в суставах и т.п.

Таким образом, выделенные инвариантные свойства ликвидации ПТ позволяют создать концептуальную модель ПР, основанную на взаимодействии подсистем (агентов).

Агент – абстракция множества лиц, реабилитируемых после травматизма, имеющих аналогичные травмы и правила реабилитации.

Системный анализ ПТ позволяет выделить шесть подсистем в процессе реабилитации ПТ, составляющих мультиагентную системную модель (рис. 2):

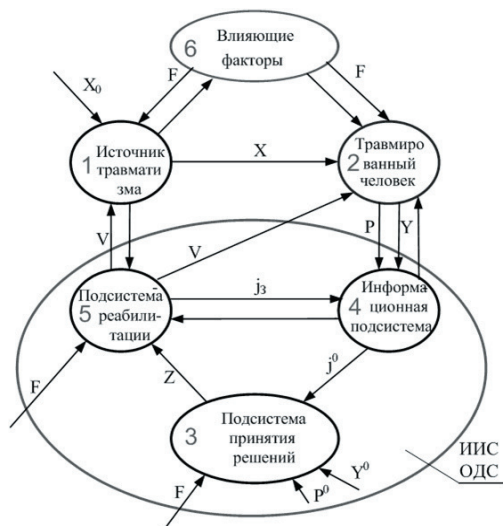


Рис. 2. Мультиагентная системная модель процесса реабилитации

- 1 – возможные источники травматизма;
- 2 – реабилитируемый человек;
- 3 – подсистема принятия решений;
- 4 – информационная подсистема;
- 5 – исполнительная подсистема;
- 6 – влияющие факторы;

Состояния объектов 1 и 2 характеризуются через переменные состояния. Выделим множество  $X = \{x_i\}$  переменных, характеризующих возможные источники травматизма ПТ:

- $x_0$  – начальный дестабилизирующий фактор, вызвавший развитие травматизма;
- $x_1$  – степень травматизма;
- $x_2$  – степень угрозы жизни человека;
- $x_3$  – места и степень повреждений ОДС;
- $x_4$  – степень временного воздействия влияющих факторов.

Состояние человека характеризуется множеством  $Y$  из следующих переменных ОДС:

- $Y_1$  – сегменты позвоночного столба;
- $Y_2$  – опорные звенья нижних конечностей.

Ущерб от ПТ характеризуется множеством потерь  $P = \{p_i\}$ :

- $p_1$  – органы человека, подлежащие травмированным сегментам позвоночного столба;
- $p_2$  – асимметрия опорных звеньев нижних конечностей, вызывающая нарушение нагрузок на ноги и походку;
- $p_3$  – ущерб состоянию здоровья человека.

Состояние подсистемы оперативного принятия решения определяется множеством  $Z = \{z_i\}$  переменных, характеризующих реабилитационные решения, направленные на:

- $z_1$  – использование эффективных лечебных мероприятий;
- $z_2$  – использование технических ресурсов (приборов для оценки текущего состояния травмированного и оказания медицинской помощи, машины скорой помощи, связи);
- $z_3$  – специальных спасательных средств;
- $z_4$  – использование технологических ресурсов (способов фиксации поврежденных участков, ликвидации последствий травматизма);
- $z_5$  – использование информационных ресурсов для повышения мобильности системы и эффективности выполнения работ;
- $z_6$  – использование финансовых ресурсов (закупки медикаментов и оплата труда);
- $z_7$  – использование специальных средств (средств мониторинга, контроля, диагностики, прогноза);
- $z_8$  – управление временным ресурсом;
- $z_9$  – использование интеллектуального ресурса;
- $z_{10}$  – использование защитных мероприятий по улучшению состояния травмированного человека.

Информационная подсистема характеризуется множеством средств для измерения, обработки и анализа информации о состоянии процесса реабилитации ( $J_1$ ), травмированного человека ( $Y$ ), влияющих факторов ( $J_2$ ), и исполнительной подсистемы ( $J_3$ ). Информационная подсистема своевременно предоставляет достоверную информацию подсистеме принятия решений на основе анализа состояния всей ИИС ОДС.

Состояние исполнительной подсистемы характеризуется множеством  $U = \{U_i\}$  располагаемых средств

для управления ПР. Переменные  $U_k$  отражают объем  $V_k$ , направленных на исполнение принятых решений  $Z_k$ , сопровождающихся некоторыми погрешностями. Требуется дополнительное временное ресурса на организационные работы ИИС ОДС.

$U = \{U_k\}$  – обобщенный ресурс, необходимый для исследований, измерений, контроля и ликвидации ПТ.

Концептуальное моделирование ПТ. КМ ПТ графически изображается в виде функционально-ориентированного графа (рис. 3).

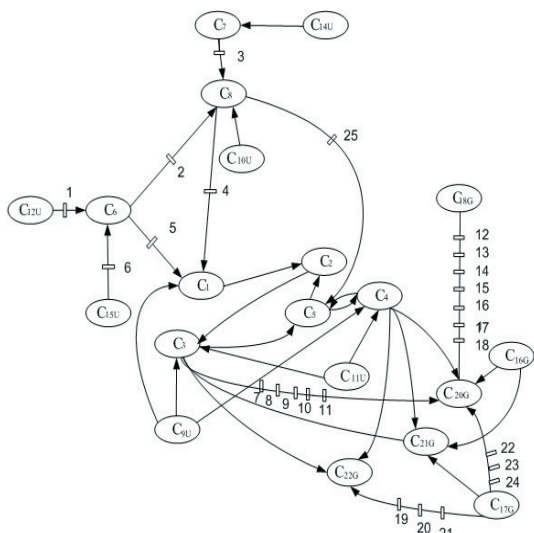


Рис. 3. Концептуальная модель ПР с учетом принятия мер по реабилитации после травматизма

Каждой вершине соответствует некоторое базовое понятие – концепт, соответствующее классу объектов, а каждой дуге – знак отношения, которое в общем случае является функциональной зависимостью  $f_{ij} = (X_i, X_j)$ , где  $X_i$  и  $X_j$  – параметры, характеризующие состояние соответственно  $i$ -го и  $j$ -го узлов в рассматриваемый момент времени, либо некоторые отношения между этими концептами. Отношения между концептами может принимать семантическое значение  $\pm 1$ , алгебраическое значение  $\pm W_{ij}$ . Особенность подхода – не только в выделении трех групп концептов в КМ, но и в выделении трех режимов реабилитации человека.

1. *Нормальный (штатный) режим.* Травмированный человек (ТЧ) реабилитируется без осложнений, переменные состояния концептов находятся в интервале  $[(X^{El,U,G})_0, (X^{El,U,G})_{кр}]$ , где  $[(X^{El,U,G})_0]$  – начальные значения переменных,  $(X^{El,U,G})_{кр}$  – критические значения переменных.

2. *Критический (потенциально опасный) режим.* Состояние ТЧ требует принятия незамедлительных мер, переменные состояния концептов находятся в интервале  $[(X^{El,U,G})_{кр}, (X^{El,U,G})_{ПТ}]$ , где  $(X^{El,U,G})_{ПТ}$  – значения переменных, при которых возможно возникновение травматизма.

3. *Угрожающий жизни режим.* При возникновении травматизма, значения переменных выходят за предельные  $(X_i^{El,U,G}) \geq (X_i^{El,U,G})_{ПТ}$ .

КМ ПР человека после травматизма. Концепты и переменные состояния приведены в табл. 3.

Таблица 3

Концепты и переменные состояния

C <sub>1</sub>	Местоположение С5-го сегмента, x, y, z
C <sub>2</sub>	Местоположение D7-го сегмента x, y, z
C <sub>3</sub>	Местоположение L3-го сегмента x, y, z
C <sub>4</sub>	Местоположение выпуклого крестцового сегмента x, y, z
C <sub>5</sub>	Равнодействующая нагрузок на левую ногу
C <sub>6</sub>	Равнодействующая нагрузок на правую ногу
C <sub>7</sub>	Местоположение левой равнодействующей
C <sub>8</sub>	Местоположение правой равнодействующей
C <sub>9</sub> <sup>u</sup>	Температура воздуха, °С
C <sub>10</sub> <sup>u</sup>	Оценка общего состояния с учетом биоритма травмированного, %
C <sub>11</sub> <sup>u</sup>	Степень травмирования, %
C <sub>12</sub> <sup>u</sup>	Количество заболеваний на 100 работников, ед.
C <sub>13</sub> <sup>u</sup>	Отношение зарплаты к прожиточному минимуму, %
C <sub>14</sub> <sup>u</sup>	Отношение доходов к зарплатам, %
C <sub>15</sub> <sup>u</sup>	Временной фактор, час суток.
C <sub>16</sub> <sup>G</sup>	Количество пострадавших среди населения, чел.
C <sub>17</sub> <sup>G</sup>	Площадь зоны возможного травмирования, км <sup>2</sup>
C <sub>18</sub> <sup>G</sup>	Количество пострадавших среди персонала, чел.
C <sub>19</sub> <sup>G</sup>	Скорость ветра, м/с
C <sub>20</sub> <sup>G</sup>	Вертикальная устойчивость атмосферы
C <sub>21</sub> <sup>G</sup>	Начисление премий
C <sub>22</sub> <sup>G</sup>	Прививки
C <sub>23</sub> <sup>R</sup>	Посменная работа
C <sub>24</sub> <sup>R</sup>	Обучение персонала
C <sub>25</sub> <sup>R</sup>	Проведение профилактических работ
C <sub>26</sub> <sup>R</sup>	Применение средств защиты
C <sub>27</sub> <sup>R</sup>	Отношение учреждений
C <sub>28</sub> <sup>R</sup>	Обеспечение медпомощи
C <sub>29</sub> <sup>R</sup>	Обеспечение заработной платы
C <sub>30</sub> <sup>R</sup>	Организация замены
C <sub>31</sub> <sup>R</sup>	Обеспечение доступа к пострадавшим
C <sub>32</sub> <sup>R</sup>	Медобеспечение

Таким образом, разработанная модель предлагает методологию концептуального моделирования процесса реабилитации человека после травматизма.

6. Выводы

1. Разработанная модель предлагает методологию концептуального моделирования процесса реабилитации человека после травматизма.
2. Системная триадная модель охватывает и объединяет в единую систему все виды лечебных и сопутствующих процедур, связанных с процессами реабилитации.
3. Возможные варианты синтеза ИИС ОДС по своему функциональному назначению и возможным вариантам решения обеспечивают создание мульти-агентных систем, удовлетворяющих потребностям реабилитации человека после травматизма по критерию максимального правдоподобия.

Література

1. Нестругина Е.С. Чичикало Н.И. Моделирование процесса отклонений формы объекта от вертикального положения путем виртуального проектирования [Текст] / Е. С. Нестругина, Н. И. Чичикало: сб. науч. тр. / Дон. инст. ж/д трансп. – Донецк : ДонИЖТ, 2011. – 151-158 с.
2. Нестругина, Е. С. Концепция определения состояния двигательных функций человека в процессе реабилитации после травматизма [Текст] / Е. С. Нестругина, Н. И. Чичикало // Журн. «Искусственный интеллект». – 2011. – № 2. – С. 60-65.
3. Нестругина, Е. С. Исследование влияния внешних возмущающих факторов на индивидуум [Текст] / Е. С. Нестругина, Н. И. Чичикало // Журнал «Системи обробки інформації. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія». – 2011.– № 3(93). – С. 206-209.
4. Нестругина, Е. С. К вопросу классификации видов возмущающих воздействий и реакций человека на них [Текст] / Е. С. Нестругина, Н. И. Чичикало // Журн. «Системи обробки інформації. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія». – 2011.– № 4(94). – С. 221-224.
5. Чичикало, Н. И. Информационно-измерительная система контроля текущего состояния опорной структуры человека [Текст] / Н. И. Чичикало, Е. С. Нестругина // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: "Обчислювальна техніка та автоматизація". – 2012.– № 22(200). – С. 201-207.
6. Ямалов, И. У. Моделирование процессов управления и принятия решений в условиях чрезвычайных ситуаций [Текст] / И. У. Ямалов. – М.: Лаборатория Базовых знаний, 2007. – 288 с.
7. Bellifemine, F. Developing multi-agent systems with JADE [Текст] / F. Bellifemine // Chichester: John Wiley & Sons Ltd. - 2007. – 286 p.
8. Oppenheim, A. V. Discrete-time signal processing [Текст] / A. V. Oppenheim, R. W. Schaffer, J. R. Buck // Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. 1998. – 870 с.
9. Ritter, G. X. Handbook of computer vision algorithms in image algebra [Текст] / G. X. Ritter, J.N. Wilson // Boca Raton, Florida: CRC Press. - 2001. – 425 p.
10. Bow, S.-T. Pattern recognition and image preprocessing / S.-T. Bow // NY: Marcel Dekker, Inc. - 2002 – 714 p.
11. Pratt, W. K. Digital Image Processing [Текст] / W.K. Pratt // NY: John Wiley & Sons, Inc. – 2001. – 213 p.
12. Hallinan, P. L. Two- and Three-Dimensional Patterns of the Face [Текст] / P.L. Hallinan, G.G. Gordon, A.L. Yuille, P. Giblin, D. Mumford // A.K. Peters Ltd. 1999. – 260 p.

УДК 615.89:505.3.054

# МОДЕЛИ СИСТЕМ «ЧЕЛОВЕК- МАШИНА-СРЕДА» С ВОССТАНОВЛЕНИЕМ ПРИ НЕКЛАССИЧЕСКИХ ПОТОКАХ СОБЫТИЙ

**И. В. Наумейко**

Кандидат технических наук, доцент\*

E-mail: naum@kture.kharkov.ua

**Аль-Азави Р. Дж.**

Аспирант\*

E-mail: razijabur@gmail.com

\*Кафедра прикладной математики

Харьковский национальный университет

радиоэлектроники

пр. Ленина, 14, г. Харьков, Украина, 61166

*Розглянуто замкнуті системи типу “людина-машина-середовище” як з класичним найпростішим потоком, так і з нестабільним джерелом стихійних лих з різними видами щільності, що апроксимована кусково-постійними функціями. Процес ліквідації аварії у всіх моделях відбувається в кілька етапів, з різними інтенсивностями і можливими багаторазовими повтореннями етапів у разі «мульти-катастроф»*

*Ключові слова: ланцюг Маркова, рівняння Колмогорова, максимальна ентропія*

*Рассмотрены замкнутые системы типа “человек-машина-среда” как с классическим простейшим потоком, так и с нестабильным источником стихийных бедствий с различными видами плотности, аппроксимированными кусочно-постоянными функциями. Процесс ликвидации аварии во всех моделях происходит в несколько этапов, с различными интенсивностями и возможными многократными повторениями этапов в случае «мульти-катастроф»*

*Ключевые слова: цепь Маркова, уравнения Колмогорова, максимальная энтропия*

## 1. Введение

Рассмотрены замкнутые системы типа “человек-ма-

шина-среда” с нестабильным источником стихийных бедствий с различными видами плотности. Предложена Марковская модель, в которой некоторые пара-