

Матричная модель представления данных и знаний для выявления закономерности режима течения жидкости в трубопроводе в зависимости от параметров гидродинамики

А.Е. Янковская^{а,б,в,г}, А.Ю. Травков^в

^а Томский государственный архитектурно-строительный университет, 634003, пл. Соляная 2, Томск, Россия

^б Национальный исследовательский Томский государственный университет, 634050, пр. Ленина, 36, Томск, Россия

^в Национальный исследовательский Томский политехнический университет, 634050, пр. Ленина 2, Томск, Россия

^г Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 634050, пр. Ленина 40, Томск, Россия

Аннотация

Для решения задачи гидравлики – выявления закономерности режима течения жидкости в трубопроводе в зависимости от параметров гидродинамики, впервые предлагается применение матричной модели (ММ) представления данных и знаний, используемой в интеллектуальных системах выявления закономерностей. ММ представляется в виде двух матриц: описаний состояния жидкости в пространстве характеристических признаков (ХП) гидродинамики (давление, скорость, температура и др.), строки которой сопоставлены различным комбинациям значений ХП, и различий диагностического типа, строки которой сопоставлены соответствующим строкам ММ, а столбцы – первым – режимам течения жидкости в трубопроводе (значения классификационных признаков (КП): идеальный, ламинарный, переходных, турбулентный), а второй – только для КП – турбулентный имеет три значения (гладкого трения, смешанного трения, квадратического сопротивления).

Ключевые слова: матричная модель; матрица описаний; матрица различий; представление данных и знаний; закономерности; режимы течения жидкости; гидродинамика; интеллектуальная система.

1. Введение

Разработка компьютерных систем определения режима движения жидкости в трубопроводе [1], обладающих высокой степенью надежности, крайне необходима при эксплуатации трубопроводов [2]. Неправильное определение режима движения может привести к нарушению и остановке производственного процесса, авариям на производстве и другим нежелательным последствиям, что в дальнейшем потребует большие финансовые затраты. Однако исследования существующих методов расчета режима движения жидкости показали, что используемые на практике методы не в полной мере учитывают все возможные параметры (признаки), влияющие на движение жидкости в трубопроводе. Проблема определения движения жидкости наиболее значима при управлении потоком жидкости в нефтепроводе [3], поскольку транспортировка углеводородного сырья представляет большую опасность и требует постоянного контроля [4]. Каждый режим движения описывается совокупностью признаков, определяющих поведение потока жидкости. Режим движения жидкости зависит от достаточно большого количества признаков (скорость, вязкость, плотность, давление и др.).

Учитывая вышеперечисленное и большое количество признаков, влияющих на режим движения жидкости в трубопроводе, очевидна настоятельная необходимость применения современных компьютерных систем для решения задачи по выявлению различного рода закономерностей между параметрами гидродинамики, влияющими на режимы движения жидкости, а также принятия диагностических решений по режимам движения жидкости. Безусловно целесообразно в этих целях создание интеллектуальной системы (ИС) по диагностике режима течения жидкости в трубопроводе (ИС ДРТЖТ), предназначенной для выявления различного рода закономерностей, принятия и обоснования решения по диагностике режима течения.

Поскольку в лаборатории интеллектуальных систем Томского государственного архитектурно-строительного университета (ТГАСУ) под руководством А.Е. Янковской было разработано 3 интеллектуальных инструментальных средств для построения прикладных интеллектуальных систем и более 30 интеллектуальных систем для решения подобного рода задач в различных проблемных областях (геология, медицина, экология, радиоэлектроника, психология и ряд других) [5–19], основанных на тестовых методах распознавания образов и предназначенных для выявления различного рода закономерностей и принятия решений, а также для принятия и обоснования решений с использованием когнитивных средств, логично воспользоваться имеющимися разработками для создания ИС ДРТЖТ.

Ниже приводятся матричная модель представления данных и знаний в области гидравлики, их структуризация, фрагмент матриц описания и различий для рассматриваемой проблемной области, направление дальнейших исследований.

2. Матричная модель представления данных и знаний. Закономерности

Разрабатываемая ИС ДРТЖТ основана на матричной модели представления данных и знаний [19].

Для представления обучающей выборки, задающей описания объектов, относительно которых известна (указана экспертами) их принадлежность выделенным образам используется матричная модель представления данных и знаний, включающая целочисленную матрицу описаний \mathbf{Q} и матрицу различений \mathbf{R} [19].

Строки матрицы \mathbf{Q} сопоставляются обучающим объектам s_i ($i = \overline{1, N}$, где N — количество объектов), столбцы — характеристическим признакам z_j ($j = \overline{1, M}$, где M — количество признаков, представляющих в совокупности описание каждого объекта). Элемент $q_{i,j}$ матрицы \mathbf{Q} задает значение j -го признака для i -го объекта.

Формирование базы данных и знаний осуществляется на основе матричной модели представления данных и знаний [19], включающей целочисленную матрицу описания (\mathbf{Q}), задающую описание объектов в пространстве k -значных характеристических признаков z_1, \dots, z_m и целочисленную матрицу различений (\mathbf{R}), задающую разбиение объектов на классы эквивалентности по каждому механизму классификации. Если значение признака несущественно для объекта, то данный факт отмечается прочерком ("—") в соответствующем элементе матрицы \mathbf{Q} . Для каждого признака z_j ($j \in \{1, 2, \dots, m\}$) задается либо интервалы изменения его значений, либо целочисленное значение.

Строки матрицы \mathbf{R} сопоставляются строкам матрицы \mathbf{Q} , столбцы — классификационным признакам k_j ($j = \overline{1, L}$, где L — число механизмов классификации, разбивающих обучающие объекты на классы эквивалентности). Элемент $r_{i,j}$ матрицы \mathbf{R} задает принадлежность i -го объекта некоторому классу (путём указания его номера) по j -му механизму классификации. Считается, что объекты, которые имеют одинаковую комбинацию значений классификационных признаков k_j , соответствующую некоторому итоговому решению, принадлежат одному образу. Это означает, что число образов равно числу неповторяющихся строк матрицы \mathbf{R} и подмножества строк матрицы \mathbf{Q} , которым сопоставлены одинаковые строки матрицы \mathbf{R} , задают описания образов.

Будем считать, что описания обучающих объектов, представленных строками матриц \mathbf{Q} и \mathbf{R} , не содержат ошибок измерения или занесения.

Отметим, что данная модель позволяет представлять не только данные, но и знания экспертов, поскольку одной строкой матрицы \mathbf{Q} можно задавать в интервальной форме (с использованием значения прочерк "—") подмножество объектов, для которых характерно одно и то же итоговое решение, задаваемое соответствующей строкой матрицы \mathbf{R} .

На рисунке 1 приведён пример матричного описания данных и знаний.

$$\mathbf{Q} = \begin{matrix} & \begin{matrix} z_1 & z_2 & z_3 & z_4 & z_5 & z_6 & z_7 & z_8 & z_9 & z_{10} & z_{11} \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 4 \\ 3 \\ 3 \\ 2 \\ 2 \\ 1 \\ 3 \\ 5 \\ 4 \\ 4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 4 & 6 & 3 & 2 & 2 & 1 & 2 & 3 & 4 & 1 \\ 4 & 4 & 5 & 2 & 3 & 2 & 7 & 8 & 3 & 4 & 1 \\ 4 & 5 & 3 & 3 & 2 & 4 & 5 & 3 & 4 & 1 & 3 \\ 4 & 4 & 4 & 1 & 4 & 4 & 2 & 3 & 1 & 5 & 1 \\ 2 & 4 & 2 & 1 & 6 & 3 & 4 & 5 & 2 & 3 & 1 \\ 2 & 4 & 5 & 1 & 3 & - & 4 & 3 & 1 & 2 & 1 \\ 1 & 4 & 3 & 2 & 5 & 2 & 1 & 2 & 3 & 4 & 1 \\ 3 & 4 & 2 & 2 & 6 & 2 & 2 & 3 & 3 & 2 & 1 \\ 5 & 4 & 2 & 2 & 6 & 3 & 5 & 6 & 2 & 4 & 1 \\ 4 & 4 & 6 & 1 & 2 & 5 & 5 & 6 & 1 & 4 & 2 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \mathbf{R} = \begin{matrix} & \begin{matrix} k_1 & k_2 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \\ 9 \\ 10 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 2 \\ 1 & 2 \\ 1 & 2 \\ 2 & 1 \\ 2 & 1 \\ 2 & 1 \\ 1 & 3 \\ 1 & 3 \\ 3 & 2 \\ 3 & 2 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad \mathbf{R}' = \begin{matrix} & \begin{matrix} k_1 & k_2 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \\ 3 \\ 3 \\ 4 \\ 4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 2 \\ 2 \\ 2 \\ 3 \\ 3 \\ 4 \\ 4 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Рис. 1. Матрицы описания \mathbf{Q} и различения \mathbf{R} и \mathbf{R}' .

Одним из важных средств анализа данных и знаний [19] являются диагностические тесты, т.е. тесты, различающие объекты из разных образов [19], построенные при выявлении закономерностей в базе данных и знаний, представленных матрицами \mathbf{Q} , \mathbf{R} , и используемые для принятия решений в ИС, основанных на методах тестового распознавания образов.

Под закономерностями в знаниях будем понимать следующие подмножества признаков: константные, устойчивые (константные внутри образа), неинформативные (не различающие ни одной пары объектов), альтернативные (в смысле включения в ДТ), зависимые (в смысле включения подмножеств различимых пар объектов), несущественные (не входящие ни в один безыбыточный ДТ), обязательные (входящие во все безыбыточные ДТ), псевдообязательные (входящие в множество используемых при распознавании безыбыточных ДТ и не являющиеся обязательными) признаки, а также все минимальные и все (либо часть – при большом признаковом пространстве) безыбыточные различающие подмножества признаков, являющиеся, по сути, соответственно минимальными и безыбыточными ДТ. К закономерностям будем относить и отказоустойчивые безыбыточные безусловные диагностические тесты (ОУ ББДТ), т.е. устойчивые к ошибкам измерения (занесения) описания исследуемого объекта.

ББДТ, также как и ОУ ББДТ характеризуется одновременным предъявлением всех входящих в него признаков исследуемого объекта при принятии решений.

В число закономерностей режима течения жидкости в трубопроводе относятся вышеупомянутые закономерности, используемые в дальнейшем для принятия решения. Выявленные закономерности позволят существенно сократить количество измерений для определения режима течения жидкости в трубопроводе.

3. Структуризация данных и знаний. Иллюстрирующий пример представления данных и знаний по режимам движения жидкости в трубопроводе

3.1. Структуризация данных и знаний

Согласно вышеприведенной матричной модели представления данных и знаний с целью определения режима течения жидкости в трубопроводе осуществлена структуризация данных и знаний в области гидравлики.

Поскольку рамки публикации не позволяют описать всё признаковое пространство, размерность которого превосходит 30, то в статье приведем только его часть и фрагмент матриц описаний и различий.

На основе анализа ряда публикаций [2, 20-22] было сформировано 9 нижеперечисленных вещественных характеристических признаков (ХП) и их значения, используемые при формировании матрицы **Q**. Как указано выше, вещественные ХП представлены интервалами изменения их значений. Характеристические признаки и интервалы разбиения каждого из 9 вещественных ХП, представленные целыми числами, перечислены ниже:

- z_1 – линейная скорость движения жидкости (в м/с²) 1 – до 0,5 включительно; 2 – от 0,5 до 1; 3 – от 1 до 1,5; 4 – от 1,5 до 2; 5 – от 2 до 2,5; 6 – от 2,5 до 3; 7 – от 3 до 3,5; 8 – от 3,5 до 4; 9 – от 4 до 4,5; 10 – от 4,5 до 5; 11 – от 5 до 5,5; 12 – от 5,5 до 6; 13 – от 6 до 6,5; 14 – от 6,5 до 7;

- z_2 – вязкость (в МПа·с): 1 – от 0,2 до 0,5; 2 – от 0,5 до 0,8; 3 – от 0,8 до 1; 4 – от 1 до 1,2; 5 – от 1,2 до 1,5; 6 – от 1,5 до 1,8; 7 – от 1,8 до 2; 8 – от 2 до 2,5; 9 – от 2,5 до 3; 10 – от 3 до 4; 11 – от 4 до 5; 12 – от 5 до 8; 13 – от 8 до 10; 14 – от 10 до 20; 15 – свыше 20;

- z_3 – плотность (в кг/м³): 1 – от 550 до 580; 2 – от 580 до 610; 3 – от 610 до 640; 4 – от 640 до 670; 5 – от 670 до 700; 6 – от 700 до 730; 7 – от 730 до 760; 8 – от 760 до 790; 9 – от 790 до 820; 10 – от 820 до 850; 11 – от 850 до 880; 12 – от 880 до 910; 13 – от 910 до 940; 14 – от 940 до 970; 15 – от 970 до 1000;

- z_4 – площадь сечения (в м): 1 – до 0,3 включительно; 2 – от 0,3 до 0,5; 3 – от 0,5 до 0,7; 4 – от 0,7 до 0,9; 5 – от 1 до 1,2; 6 – от 1,2 до 1,4;

- z_5 – элемент гидропривода: 1 – труба круглого сечения (гладкая); 2 – гибкий рукав; 3 – концентрическая гладкая шель; 4 – кран; 5 – расходные окна золотников; 6 – плоские и конусные клапаны; 7 – фильтр сетчатый.

- z_6 – температура (в °С): 1 – от 0 до 10; 2 – от 10 до 20; 3 – от 20 до 30; 4 – от 30 до 40; 5 – от 40 до 50; 6 – от 50 до 60; 7 – от 60 до 70; 8 – от 70 до 80; 9 – от 80 до 90; 10 – от 90 до 100;

- z_7 – тип жидкости: 1 – вода; 2 – морская вода; 3 – нефть; 4 – эфир; 5 – спирт; 6 – бензин; 7 – керосин;

- z_8 – шероховатость (в мм): 1 – 0,0001; 2 – 0,001; 3 – 0,006; 4 – 0,015; 5 – 0,017; 6 – 0,02; 7 – 0,025; 8 – 0,1; 9 – 0,15; 10 – 0,25;

- z_9 – давление (в МПа): 1 – от 0,25 до 0,75; 2 – от 0,75 до 2,5; 3 – от 2,5 до 5; 4 – от 5 до 6,4.

Отметим, что строки матрицы **Q** сопоставлены режимам течения жидкости и представляют собой только часть различных комбинаций значений ХП.

Для матрицы **R** перечислим классификационные признаки (КП) и их значения.

- k_1 – режим течения жидкости: 1 – идеальный; 2 – ламинарный; 3 – переходный; 4 – турбулентный;

- k_2 – зоны турбулентного режима течения жидкости: 1 – зона гидравлически гладких труб; 2 – зона смешанного трения; 3 – зона квадратичного сопротивления.

3.2. Иллюстрирующий пример представления данных и знаний по режимам движения жидкости в трубопроводе

Приведём на рисунке 2 иллюстрирующий пример представления данных и знаний по режимам движения жидкости в трубопроводе. Матрицы описания и различия представляют собой фрагмент матричного описания данных и знаний в области гидравлики.

Матрица описания (рис. 2) содержит 9 столбцов сопоставленных вышеперечисленным ХП и 15 заполненных нами строк.

Строки матрицы **R** сопоставляются строкам матрицы **Q**, столбцы – вышеперечисленным КП k_j ($j \in \{1,2\}$). Элемент r_{ij} матрицы **R** задаёт принадлежность i -го объекта (потока жидкости) некоторому классу по j -му механизму классификации (режиму течения жидкости) путём указания номера класса. Для исследуемой области гидравлики строка матрицы **R** задает режим течения жидкости и зону турбулентного режима.

Множество всех неповторяющихся строк матрицы различий сопоставлено множеству выделенных образов, представленных одностолбцовой матрицей **R'**, элементами которой являются номера образов. Данная модель не допускает пересечение объектов из разных образов.

Учитывая, что размерность публикации не позволяет полностью привести матричное описание данных и знаний, то на рис. 2, приведём только фрагмент матричного представления данных и знаний по режимам движения жидкости в трубопроводе (матрица **Q**, **R** и **R'**). Вышеупомянутый фрагмент представляющих собой частичное описание знаний, поскольку для определения режима движения жидкости используется только часть характеристического признакового пространства и его значений.

Сформированные матрицы описания и различия будут представлены в базе данных и знаний ИС ДРТЖТ по режимам течения жидкости в трубопроводе, а ИС ДРТЖТ предназначенная для оперативного определения режима течения жидкости в трубопроводе: 1) идеальный режим течения; 2) ламинарный режим течения; 3) переходный режим течения жидкости; 4) турбулентный режим течения, зона гидравлически гладких труб; 5) турбулентный режим течения, зона смешанного трения; 6) турбулентный режим течения, зона квадратичного сопротивления.

	z_1	z_2	z_3	z_4	z_5	z_6	z_7	z_8	z_9	k_1	k_2
$Q =$	1	5	15	2	1	5	1	1	1	4	1
	1	11	1	2	1	7	3	1	1	2	–
	1	13	1	2	1	8	3	1	1	2	–
	2	12	1	2	1	6	3	1	1	3	–
	2	4	1	4	1	4	3	6	5	4	3
	2	2	2	4	1	4	3	6	5	4	3
	2	2	6	1	1	4	3	6	1	4	3
	2	2	5	1	1	4	3	1	1	4	1
	3	2	5	1	1	3	3	1	1	4	2
	3	1	5	1	1	6	3	1	1	4	2
	2	12	1	2	1	7	3	1	1	3	–
	1	13	1	2	1	8	3	1	1	3	–
	2	12	1	2	1	4	3	1	1	2	–
	3	3	1	3	1	6	3	1	1	4	1
	2	12	1	2	1	5	3	1	1	3	–

Рис. 2. Фрагмент матрицы описания и различия.

4. Заключение

На основе проведённого анализа современного состояния исследований в области определения режима движения жидкости в трубопроводе, впервые предлагается создание интеллектуальной системы по диагностике режима течения жидкости в трубопроводе, предназначенной для выявления различного рода закономерностей между параметрами гидродинамики, влияющими на режимы движения жидкости, а также для принятия и обоснования решения по диагностике режима течения жидкости в трубопроводе.

Показана целесообразность применения матричной модели представления данных и знаний в создаваемой интеллектуальной системе по диагностике режима течения жидкости в трубопроводе. Впервые в соответствии с предложенной моделью представления данных и знаний сформировано признаковое пространство, осуществлена структуризация данных и знаний в рассматриваемой проблемной области, выявлены характеристические и классификационные признаки, осуществлено перекодирование вещественных признаков в целочисленные, приведён иллюстрирующий пример описания матричного представления данных и знаний, представляющих собой частичное описание знаний, поскольку для определения режима движения жидкости используется только часть характеристического признакового пространства и его значений. В связи с рамками статьи перечисление всего признакового пространства и полного матричного представления невозможно.

Разрабатываемая ИС ДРТЖТ позволит оперативно и при меньших стоимостных затратах определить режим течения жидкости в трубопроводе: идеальный; ламинарный; переходный; турбулентный, зона гидравлически гладких труб; турбулентный, зона смешанного трения; турбулентный, зона квадратичного сопротивления в зависимости от исследуемых параметров гидродинамики. У компании, обслуживающей трубопровод, появится возможность оперативного реагирования на любые изменения в трубопроводе при принятии соответствующих мер по управлению потоком и исключению возможных аварийных ситуаций.

Создаваемая ИС ДРТЖТ может быть применена по прямому назначению на различного рода предприятиях, а также использована в целях обучения специалистов в области гидродинамики.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (проект № 16-07-00859а).

Литература

- [1] СНиП 2.01.07-85 «Нагрузки и воздействия». – М.: Госстрой СССР, 1985. – 48 с.
- [2] СНиП 2.05.06-85* «Магистральные трубопроводы». – М.: Госстрой России, 2001. – 86 с.
- [3] Кудинов, В.И. Основы нефтегазопромыслового дела / В.И. Кудинов. – М.: ИКИ, 2005. – 720 с.
- [4] Шаммазов, А.М. Трубопроводный транспорт России/ А.М. Шаммазов, Р.Н. Бахтизин, Б.Н. Мастобаева, А.Е. Сощенко. – Трубопроводный транспорт нефти, 2001. – № 2.
- [5] Yankovskaya, A.E. IMSLOG-2002 Software Tool for Supporting Information Technologies of Test Pattern Recognition/ A.E. Yankovskaya, A.I. Gedike, R.V. Ametov, A.M. Bleikher// Pattern Recognition and Image Analysis. – 2003. – Vol. 13. – No. 4. – pp. 650-657.
- [6] Yankovskaya, A.E. On the Question of the Development and Application of Intelligent Biomedical Systems/ A.E. Yankovskaya, N.N. P'inskikh // Pattern Recognition and Image Analysis. – 1998. – Vol. 8, No. 3. – pp. 470-472.
- [7] Yankovskaya, A.E. An Automaton Model, Fuzzy Logic, and Means of Cognitive Graphics in the Solution of Forecast Problems/ A.E. Yankovskaya// Pattern Recognition and Image Analysis. – 1998. – Vol. 8, No. 2. – pp. 154-156.
- [8] Rocher, G. Real-time Recognition of ECG by Using Powerful Information and Communication Technology for Intelligent Monitoring of Risk Patients/ G. Rocher, A. Brattstrum, S. Gho, F. Francenson, H. Hintricus, R. Mauser, M. Packianather, G. Pogrzeba, A. Yankovskaya, V. Zvegintsev. // Application,

- Trends, Visions, VDE World Microtechnologies (MICRO.tech 2000). Proceedings of International Congress. Vol. 2. – ISBN 3-8007-2579. – Hannover, Germany, 2000 – pp. 759-762.
- [9] Yankovskaya, A.E. IMSLOG-2002 Software Tool for Supporting Information Technologies of Test Pattern Recognition/ A.E. Yankovskaya, A.I. Gedike, R.V. Ametov, A.M. Bleikher // Pattern Recognition and Image Analysis. – 2003. – Vol. 13. – No. 2. – pp. 243-246.
- [10] Ryumkin, A. Intelligent Expansion of the Geoinformation System/ A. Ryumkin, A. Yankovskaya // The 6th German-Russian Workshop "Pattern Recognition and Image Understanding" OGRW-6-2003, Workshop proceedings. – Novosibirsk, Russian Federation, 2003. – pp. 202-205.
- [11] Yankovskaya, A.E. Intelligent Test Recognizing Biomedical System / A.E. Yankovskaya, G.E. Chernogoryuk, E.A. Muratova // The 6th German-Russian Workshop "Pattern Recognition and Image Understanding" OGRW-6-2003, Workshop proceedings. – Novosibirsk, Russian Federation, 2003. – pp. 248-251.
- [12] Yankovskaya, A.E. Intelligent system for knowledge estimation on the base of mixed diagnostic tests and elements of fuzzy logic/ A.E. Yankovskaya, M.E. Semenov// Proceedings of the IASTED International Conference Technology for Education (TE 2011) December 14 - 16, 2011 Dallas, USA. – Pp. 108-113.
- [13] Yankovskaya, A. Mental Disorder Diagnostic System Based on Logical-Combinatorial Methods of Pattern Recognition / A. Yankovskaya, S. Kitler // Computer Science Journal of Moldova, vol.21, no.3(63), 2013. – pp. 391-400.
- [14] Yankovskaya, A.E. Bases of intelligent system creation of decision-making support on road-climatic zoning / A.E. Yankovskaya, A. Yamshanov // Pattern Recognition and Information Processing (PRIP'2014): Proceedings of the 12th International Conference (28–30 May 2014, Minsk, Belarus). – Minsk : UIIP NASB, 2014. – 340 p., p. 311-315.
- [15] Yankovskaya, A.E. Structurization of data and knowledge for the information technology of road-climatic zoning / A.E. Yankovskaya, S. Efimenko, D. Cherepanov // Applied Mechanics and Materials . – Vol. 682. – 2014. – pp. 561-568.
- [16] Yankovskaya, A.E. Intelligent Information Technology in Education / A.E. Yankovskaya, Y. Dementyev, D. Lyapunov, A. Yamshanov. // Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine (ITSMSSM-2016), Atlantis Press Publishing. – pp. 17-21.
- [17] Yankovskaya, A.E. On a Question of the Information Technology Construction Based on Self-learning Medicine Intelligent System / A.E. Yankovskaya, I. Gorbunov, I. Hodashinsky, G. Chernogoryuk.// Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine (ITSMSSM-2016), Atlantis Press Publishing. – pp. 22-28.
- [18] Yankovskaya, A. E. Construction of Hybrid Intelligent System of Express-Diagnostics of Information Security Attackers Based on the Synergy of Several Sciences and Scientific Directions / A.E. Yankovskaya, A.A. Shelupanov, V.G. Mironova // Pattern Recognition and Image Analysis, 2016, Vol. 26, No. 3, pp. 524–532.
- [19] Янковская, А.Е. Логические тесты и средства когнитивной графики / А.Е. Янковская // LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. – 92 с.
- [20] Биркгоф, Г. Гидродинамика / Г.Биркгоф – М.: Иностранная литература, 1954.– 184 с.
- [21] Лойцянский, Л.Г. Механика жидкости и газа / Л.Г. Лойцянский. – М.-Л.: Гостехиздат, 1950 – 479 с.
- [22] Роч, П. Вычислительная гидродинамика/ П. Роч. – М.:Мир, 1980. – 616 с.