

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ**



ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

2 (20)

Донецк – 2020

УДК 004.3+004.9+004.2+51.7+519.6+519.7

ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА, № 2 (20), 2020,
Донецк, ДонНТУ.

Представлены материалы по вопросам приоритетных направлений научно-технического обеспечения в области информатики, кибернетики и вычислительной техники.

Материалы предназначены для специалистов народного хозяйства, ученых, преподавателей, аспирантов и студентов высших учебных заведений.

Редакционная коллегия

Главный редактор: Павлыш В. Н., д.т.н., проф.

Зам. глав. ред.: Мальчева Р. В., к.т.н., доц.

Ответственный секретарь: Воронова А. И.

Члены редакционной коллегии: Аверин Г. В., д.т.н., проф.; Аноприенко А. Я., к.т.н., проф.;

Зинченко Ю. Е., к.т.н., доц.; Зори С. А., д.т.н., доц.; Карабчевский В. В., к.т.н., доц.;

Миненко А. С., д.ф-м.н., проф.; Привалов М. В., к.т.н., доц.; Скобцов Ю. А., д.т.н., проф.;

Федяев О. И., к.т.н., доц.; Шелепов В. Ю., д.ф-м.н., проф.

Рекомендовано к печати ученым советом ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет» Министерства образования и науки ДНР. Протокол № 2 от 26 июня 2020 г.

Свидетельство о регистрации СМИ: серия ААА № 000145 от 20.06.2017.

Приказ МОН ДНР № 135 от 01.02.2019 о включении в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК ДНР.

Контактный адрес редакции

ДНР, 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, ГОУ ВПО «ДонНТУ»,

4-й учебный корпус, к. 36., ул. Кобозева, 17.

Тел.: +38 (062) 301-07-35, +38 (071) 334-89-11

Эл. почта: infcyb.donntu@yandex.ru

Интернет: <http://infcyb.donntu.org>

© Донецкий национальный технический университет
Министерство образования и науки ДНР, 2020

СОДЕРЖАНИЕ

Информатика и вычислительная техника

Анализ влияния модели синхронных генераторов на точность моделирования переходных процессов при несинхронных повторных включениях <i>Ларин А. М., Гришианов С. А., Зори С. А.</i>	5
Анализ возможностей использования существующих словарей для пополнения онтологии <i>Андриевская Н. К., Секирин А. И., Канатуш С. В.</i>	13
Анализ методов обработки и классификации информации в области медицинской и технической диагностики <i>Павлыш В. Н., Дегонский А. И., Бурлаева Е. И.</i>	21
Метод эквивалентных отображений в алгоритмах систем управления <i>Криводубский О. А.</i>	27
Моделирование плотного транспортного потока <i>Зензеров В. И., Бельков Д. В.</i>	34
Принципы формирования математической модели процесса гидравлического воздействия на угольный пласт с учетом особенностей его структуры и управления параметрами <i>Лазебная Л. А.</i>	40

Компьютерные науки

О частичных бесконечноарных группоидах, у которых каждое отношение эквивалентности является конгруэнцией <i>Решетников А. В.</i>	47
Численное решение краевой задачи конвективной диффузии в ограниченной неоднородной среде <i>Перинская Е. В.</i>	58

Инженерное образование

Использование технологии воркшоп для повышения креативности будущих инженеров-педагогов <i>Приходченко Е. И.</i>	65
Об авторах	69
Требования к статьям, направляемым в редакцию научного журнала «Информатика и кибернетика»	70

Информатика и вычислительная техника

Анализ влияния модели синхронных генераторов на точность моделирования переходных процессов при несинхронных повторных включениях

А. М. Ларин, С. А. Гришанов, С. А. Зори

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
lam@elf.donntu.org, serg@elf.donntu.org, ik.ivt.rec@gmail.com

Аннотация

На основании исследования результатов многовариантного математического моделирования электромагнитных и электромеханических переходных процессов при включениях турбо- и гидрогенераторов в сеть обоснованы модели синхронных машин минимальной сложности в форме частотных характеристик или эквивалентных схем замещения, что позволит повысить эффективность применения несинхронных автоматических повторных включений, как средства восстановления синхронизма после ликвидации асинхронного режима в электрической системе.

Введение

Создание крупных объединенных энергосистем приводит к увеличению числа межсистемных связей, в т. ч. и слабых. Это повышает вероятность возникновения по ним асинхронного хода при возмущениях в системе. Если в результате действия системной автоматики ресинхронизация оказывается невозможной, то осуществляется отключение линии связи с последующим восстановлением параллельной работы. Такое восстановление синхронизма должно производиться автоматически с минимально возможными задержками по времени.

В практике эксплуатации в соответствии с ПТЭ [1] разрешаются и успешно применяются различные методы автоматического повторного включения (АПВ) синхронных генераторов (СГ) в сеть: с контролем и без контроля синхронизма.

Последний способ, получивший название несинхронного АПВ (НАПВ), позволяет существенно упростить устройства автоматики и значительно сократить время восстановления связи.

Из определения понятия несинхронных включений возбужденных синхронных генераторов следует, что в электрооборудовании системы (в первую очередь в генераторах) могут возникать значительные токи и электромагнитные моменты, недопустимые по условиям их механической прочности. Оценка допустимости может быть выполнена на основе предварительного имитационного моделирования режимов НАПВ.

В этой связи становится актуальной задача анализа эффективности применения различных математических моделей синхронных генераторов для исследования переходных процессов при НАПВ с целью уточнения условий, при которых несинхронные АПВ являются допустимыми и целесообразными.

Анализ последних исследований и публикаций

Теоретические и экспериментальные исследования несинхронных включений возбужденных СГ являются продолжением работ по исследованию асинхронных режимов.

Исследования по оценке допустимости и целесообразности НАПВ были обобщены в монографии [2]. В ней приводятся методы расчета и анализа несинхронных включений с точки зрения их безопасности для синхронных генераторов, а также для синхронных компенсаторов и трансформаторов. Сформулированы условия допустимости применения НАПВ.

Критический анализ результатов исследований и существующих в настоящее время практических рекомендаций по применению НАПВ позволил установить следующие их неточности и недостатки.

Полученные в [2] и включенные в ПТЭ [1] критерии допустимости применения НАПВ в электрических системах основаны на результатах теоретических и практических исследований синхронных генераторов относительно небольшой единичной мощности (от 7,5 до 150 МВт), имеющих значительные механические постоянные инерции агрегатов (генератор-турбина). Вместе с тем известно, что с увеличением номинальной мощности генератора значение механической постоянной времени уменьшается. Это может привести к существенному влиянию на электромагнитные моменты изменения скольжения и угла при электромеханическом переходном процессе. Не учитывается также изменение скольжения и углового положения ротора после подключения машины к сети.

Все выводы и рекомендации сформулированы на основании исследований, выполненных по упрощенным аналитическим соотношениям, полученным для машины со сверхпроводящими роторными контурами, что не позволяет учитывать электромагнитные переходные процессы, вызванные затуханием наведенных токов.

Представление в [2] синхронных генераторов значениями сверхпереходных индуктивных сопротивлений по продольной и поперечной осям магнитной симметрии ротора соответствует возникновению максимальных значений моментов при углах между векторами ЭДС генератора и системы в момент включения, равных 120° для турбогенераторов (ТГ) и 135° – для гидрогенераторов (ГГ). При получении этих значений предполагалось, что ротор ГГ является несимметричным ($x_d^* < x_q^*$), а ТГ – симметричным ($x_d^* = x_q^*$).

Однако известно, что ротор генератора из-за влияния массивных конструктивных элементов и наличия демпферной системы обладает динамической асимметрией, обусловленной возникновением свободных токов в контурах. Кроме того, в [3] показано, что переходные процессы в СГ в начальный момент при внезапных коротких замыканиях или включениях в сеть определяются значениями проводимостей $y(js)_{s=1}$ при скольжении ротора $s = 1$.

Это обстоятельство может изменить условия возникновения максимальных электромагнитных моментов и требует уточнения их значений с использованием более полных математических моделей, учитывающих наличие на роторе синхронной машины демпферных контуров.

Широкое внедрение современной вычислительной техники, накопление информации о синхронных генераторах в форме частотных характеристик, а также развитие методов синтеза многоконтурных эквивалентных схем замещения, адекватно отражающих динамические свойства электрических машин, создают предпосылки для уточненного исследования переходных процессов при НАПВ.

В [4] делается попытка разработки математической модели для исследования НАПВ турбогенератора мощностью 250 МВт со следующими значениями электромагнитных параметров: $x_d^* = 0,203$; $x_q^* = 0,292$; $x_\sigma = 0,203$. Анализ приведенных параметров указывает на то, что соотношения между сверхпереходными индуктивными сопротивлениями характерны не для ТГ, а для гидрогенераторов. Кроме того,

равенство значений сверхпереходного сопротивления $x_d^* = 0,203$ и сопротивления рассеяния обмотки статора $x_\sigma = 0,203$ соответствует отсутствию влияния демпферного контура по продольной оси ротора при скольжении, стремящемся к бесконечности. При этом демпферный контур по поперечной оси проявляет себя ($x_q^* = 0,292$). В [2] показано, что для генератора, имеющего неодинаковые сверхпереходные сопротивления ($x_d^* < x_q^*$), максимальное значение электромагнитного момента наступает при угле несинхронного включения $\delta_0 \approx 135^\circ$. В цитируемой работе исследования проводятся при $\delta_0 \approx 120^\circ$. Значение ЭДС турбогенератора в работе принято таким, которое возможно только для ГГ: $E = 1,5$.

Математическая модель получена в среде прикладного пакета *MATLAB* с использованием приложения *SimPowerSystems*. В принятой модели синхронный генератор хотя и учитывает наличие демпферных контуров, однако представляется упрощенно по одному контуру в каждой оси ротора.

Следует также отметить, что выполненные в [4] исследования не направлены на уточнение условий допустимости применения НАПВ, а связаны только с проверкой возможности использования пакета *MATLAB* для анализа электромеханических переходных процессов. Авторы принимают все положения, полученные в [2] на основе упрощенных соотношений.

В [5] рассматриваются вопросы уточнения условий допустимости НАПВ для турбогенератора на основании более полной математической модели в виде многоконтурных схем замещения. Исследование влияния математических моделей ТГ на электромеханические процессы при выпадении из синхронизма и установившемся асинхронном режиме рассматриваются в [6, 7].

Выполненный анализ теоретических и практических положений, направленных на оценку допустимости применения НАПВ в конкретных условиях работы электроэнергетических систем, позволил сформулировать цель и задачи исследований настоящей работы.

Цель и задачи исследования

Целью работы является обоснование моделей турбо и гидрогенераторов минимальной сложности для уточненного определения максимальных значений электромагнитных моментов при НАПВ в электрических системах.

Основной материал исследования

Анализ несинхронных включений синхронных генераторов проводился по результатам расчета переходных процессов при отсутствии внешних сопротивлений в цепи обмотки статора по программе, реализующей численное интегрирование методом Рунге – Кутты четвертого порядка полных дифференциальных уравнений Парка – Горева, дополненных уравнением движения ротора.

В работе исследовались промышленные синхронные генераторы различных типов и мощностей: турбогенератор типа ТГВ-300, а также гидрогенераторы типа СВ-1500/200-88 и СВ-1190/250-48.

Значения параметров эквивалентных схем замещения исследуемых генераторов приведены в табл. 1.

Таблица 1 – Параметры эквивалентных схем замещения исследуемых генераторов

Тип синхронного генератора		Параметры роторных контуров, о. е.				
		ОВГ	Демпферная система			
		$\frac{x_{\sigma f}}{r_f}$	$\frac{x_{\sigma 1}}{r_1}$	$\frac{x_{\sigma 2}}{r_2}$	$\frac{x_{\sigma 3}}{r_3}$	$\frac{x_{\sigma 4}}{r_4}$
Турбогенератор ТГВ – 300: $x_{ad} = x_{aq} = 2,02$; $x_{\sigma} = 0,17$	ось d $x_d'' = 0,195$	0,32600	0,20300	0,1280	0,0430	-
		0,00145	0,00403	0,0431	0,0802	-
	ось q $x_q'' = 0,21$	-	4,30300	0,8250	0,3230	0,0510
		-	0,00458	0,0162	0,0453	0,1005
	ось d $x_d' = 0,195$	0,326	0,181	0,042	-	-
		0,00145	0,0044	0,043	-	-
	ось d $x_d' = 0,195$	0,227	0,209	0,042	-	-
		0,001232	0,0093	0,0451	-	-
Гидрогенератор СВ-1500/200-88 $x_{ad} = 0,546$; $x_{aq} = 0,301$; $x_{\sigma} = 0,093$	ось d $x_d' = 0,164$	0,676000	0,1920	0,1780	-	-
		0,000594	0,00055	0,0130	-	-
	ось q $x_q' = 0,163$	2,3000	0,1030	0,9420	-	-
		0,00785	0,0060	0,7720	-	-
Гидрогенератор СВ-1190/250-48 $x_{ad} = 1,113$; $x_{aq} = 0,724$; $x_{\sigma} = 0,177$	ось d $x_d' = 0,272$	0,2290	0,48100	0,3100	-	-
		0,000720	0,01039	0,1982	-	-
	ось q $x_q' = 0,231$	8,206	0,1470	0,0980	-	-
		0,00952	0,00549	0,2624	-	-

Значения активных и индуктивных сопротивлений многоконтурных эквивалентных схем замещения по осям магнитной симметрии ротора были синтезированы в соответствии с методикой [8] по экспериментальным частотным характеристикам проводимостей со стороны обмоток статора, полученным по методу затухания постоянного тока для турбогенератора ТГВ-300 на кафедре электрических систем ДонНТУ (г. Донецк), а для гидрогенераторов сотрудниками ВНИИ Электромашиностроения (г. Санкт-Петербург).

Число контуров, отражающих влияние обмотки возбуждения генератора (ОВГ) и демпферной системы из условия погрешности исходной и расчетной частотных характеристик,

равной не более 2 %, для турбогенератора составило четыре по каждой оси, а для гидрогенераторов – по три. В качестве обмотки возбуждения принимались соответствующие контуры, имеющие наименьшие значения электромагнитных постоянных времени. Отметим, что при синтезе указанных схем замещения использовались значения частотных характеристик $y(js)$ при скольжении ротора $s = 1$, приведенные в табл. 2.

Методика исследований заключалась в следующем. Для явнополюсных гидрогенераторов сопоставлялись результаты расчета максимальных значений электромагнитных моментов, найденных по полным схемам замещения и по упрощенным соотношениям [2].

Таблица 2 – Значения комплексных проводимостей со стороны обмотки статора генератора при неподвижном состоянии ротора

Комплексная проводимость	Тип генератора		
	ТГВ – 300	СВ-1500/200-88	СВ-1190/250-48
$y_d(j\omega)_{s=1}$	4,806 + j0,492	6,172 + j0,077	3,582 + j0,206
$y_q(j\omega)_{s=1}$	3,124 + j1,054	6,103 + j0,204	3,661 + j0,471

Для турбогенератора ТГВ-300 с массивным ротором исследования проводились для следующих вариантов используемых математических моделей: 1 – с использованием полных многоконтурных эквивалентных схем замещения; 2 – при представлении ротора полностью симметричным. В этом случае параметры роторных контуров по поперечной оси принимались такими же, как и по продольной, включая обмотку возбуждения; 3 – при представлении симметричным только массивных элементов ротора, в этом случае по поперечной оси отсутствовал контур, соответствующий обмотке возбуждения; 4 – при использовании одноконтурных схем замещения, полученных по справочным данным.

Поскольку в [2] было показано, что фактором, ограничивающим допустимость применения НАПВ, является электромагнитный

момент, то анализ проводился на основании расчетов и сопоставления значений электромагнитных моментов.

При расчетах по уравнениям Парка – Горева учитывалось, что в момент несинхронного включения значение скольжения ротора генераторов составляло 3 %, которое изменялось в течение переходного режима.

Для турбогенератора рассчитывались максимальные значения моментов при углах включения 120° , а для гидрогенераторов – 135° . Кроме того, для каждого из вариантов модели определялись значения углов в момент НАПВ, при которых действительно возникают максимально возможные значения электромагнитных моментов.

Результаты выполненных исследований приведены в табл. 3.

Таблица 3 – Значения электромагнитных моментов при НАПВ синхронных генераторов

Тип генератора	Вариант схемы замещения	Значения электромагнитного момента	Максимальные значения электромагнитного момента	
			$\delta_{\max}$, градусы	$M_{\max}$, о. е.
Турбогенератор при $\delta_0 = 120^\circ$				
ТГВ-300	1	19,755	137	20,377
	2	16,483	121	16,486
	3	16,908	127	16,981
	4	17,026	121	17,027
	Расчет по [2]	17,297	125	17,354
Гидрогенераторы при $\delta_0 = 135^\circ$				
СВ-1500/200-88	Полная СЗ	28,256	125	28,426
	Расчет по [2]	26,976	125	27,184
СВ-1190/250-48	Полная СЗ	16,240	126	16,336
	Расчет по [2]	15,620	113	16,096

Из анализа табл. 3 следует, что максимальные значения электромагнитных моментов зависят от исходных математических моделей генераторов. Наибольшими для любых типов синхронных машин они оказываются при использовании точных моделей в виде многоконтурных схем замещения, адекватно отражающих экспериментальные частотные характеристики проводимости со стороны обмотки статора.

Значения моментов, возникающих при углах несовпадения векторов ЭДС системы и генератора, рекомендуемых в [2] ($\delta_0 \approx 120^\circ$ и $\delta_0 \approx 135^\circ$), не предопределяют возникновение

максимально возможных электромагнитных моментов.

Так максимально возможное значение момента для турбогенератора, полученное на основании полных схем замещения, оказывается при его включении с углом $\delta_0 = 137^\circ$ и превышает соответствующее значение, полученное при $\delta_0 = 120^\circ$, на 5,1 %. Расчет при использовании других моделей показывает, что наибольшие значения моментов возникают при различных углах включения. Отличие максимального момента, соответствующего полным схемам замещения, от рассчитанного по упрощенной методике [2] составляет 17,4 %.

Только для модели, характеризующей полную симметрию ротора турбогенератора ТГВ-300 (вариант 2) максимальное значение наступает, как это утверждается в [2], при $\delta_0 = 120^\circ$.

Для гидрогенератора СВ-1500/200-88 максимальные значения моментов, рассчитанных по дифференциальным уравнениям с использованием исходных многоконтурных схем замещения, в меньшей степени отличаются от найденных по упрощенным аналитическим соотношениям на основе значений сверхпереходных индуктивных сопротивлений. Их несовпадение составляет 4,7 %. Для генератора типа СВ-1190/250-48 максимальные значения моментов практически совпали между собой. Однако они наступают при различных углах включения. Отметим также, что оказываются различными и значения времени, при котором наступает максимум момента. Такие отличия в максимальных значениях и временах их наступления свидетельствуют о влиянии на указанные параметры динамической явноточности генератора.

Т. о., значения углов в момент НАПВ, при которых возникают максимальные электромагнитные моменты, определяются не типом синхронной машины (120° для турбо- и 135° для гидрогенератора), а их динамическими свойствами, характеризуемыми значениями комплексных проводимостей со стороны обмотки статора по продольной и поперечной осям магнитной симметрии ротора при скольжении $s = 1$.

Как известно, общее выражение электромагнитного момента вращения с учетом всех составляющих токов и потокосцеплений переходного процесса имеет вид:

$$M = \operatorname{Re}[j\psi \cdot i_s^*],$$

т. е., значение M определяется произведением амплитуд векторов потокосцепления и тока на синус угла между ними, т. е. проекцией вектора тока на направление мнимой оси комплексной плоскости, на которой строятся и исходные частотные характеристики.

Представление синхронных генераторов сверхпроводящими контурами на роторе предполагает равенство проводимостей со стороны обмотки статора (индуктивных сопротивлений) при скольжениях $s = 1$ и $s \rightarrow \infty$, т. е. $y_d(js)_{s=1} = y_d(js)_{s \rightarrow \infty}$ и $y_q(js)_{s=1} = y_q(js)_{s \rightarrow \infty}$ или $x_{ds=1}'' = x_{ds \rightarrow \infty}''$ и $x_{qs=1}'' = x_{qs \rightarrow \infty}''$. Очевидно, что при учете активных сопротивлений роторных контуров указанные условия не выполняются.

Проанализируем влияние значений мнимых составляющих комплексных проводимостей $y_d(js)_{s=1}$ и $y_q(js)_{s=1}$ на величины моментов, наступающих в первом максимуме

переходного процесса. Для синхронных машин, имеющих различные динамические свойства по осям магнитной симметрии ротора, как показано в [3], средняя составляющая момента определяется средним значением мнимых частей проводимостей $y_d(js)_{s=1}$ и $y_q(js)_{s=1}$.

Из табл. 1 следует, что для полных исходных схем замещение турбогенератора оно составляет 0,773. При представлении ротора полностью симметричным (вариант 2) – 0,492. При симметрии только массивных элементов ротора несколько больше чем при полностью симметричном роторе и составило – 0,522.

Из табл. 3. видно, что значения электромагнитных моментов в период первого максимума тем больше, чем больше среднее значение мнимой составляющей комплексной проводимости при $s = 1$.

Для гидрогенератора СВ-1500/200-88 мнимая составляющая оказалась равной 0,14, т. е. 5,5 раз меньшей, чем для турбогенератора. В этом случае значения проводимостей при $s = 1$ и $s \rightarrow \infty$ отличаются в меньшей степени. Это объясняет меньшее отличие в максимальных значениях момента, полученных по схемам замещения и методике [2]. Для гидрогенератора типа СВ-1190/250-48 $x_d'' > x_q''$, что не учитывается в упрощенной модели [2]. В этом случае максимальное значение момента оказалось при угле включения, равном 113° .

Т. о., выполненный анализ показал, что первое максимальное значение электромагнитного момента пропорционально величине мнимой составляющей комплексной проводимости при неподвижном роторе.

Рассмотрим теперь влияние вида схем замещения не только на значения электромагнитного момента при наступлении первого, но и последующих максимумов в переходном режиме после осуществления НАПВ.

В настоящее время при решении задач расчета электромеханических переходных процессов имеет место тенденция к учету многоконтурности роторов. Очевидно, что выбор определенного количества эквивалентных контуров должен зависеть от цели исследования. В [9–10] показано, что в эталонной модели синхронной машины необходимо учитывать по три магнитно связанных контура по каждой оси ротора. Такой подход используется в зарубежной практике при разработке современных пакетов прикладных программ (*DigSilent PowerFactory* [11] и приложение *SimPowerSystems* прикладного пакета *MATLAB* [12]).

Для возможности использования указанных программ для турбогенератора ТГВ-300 были синтезированы схемы замещения, содержащие по три контура по каждой оси ротора. Значения параметров таких схем

замещения приведены в табл. 1. Отметим, что при определении параметров использовались значения комплексных проводимостей при $s = 1$. Отличие ЧХ, соответствующих полученным трехконтурным схемам, не превысило 5 % для действительных значений и достигало 10 % для мнимых составляющих.

Несовпадение электромагнитных моментов, полученных по полным и трехконтурным схемам, не превысило 3 % во всем диапазоне исследования переходного процесса.

Кроме того, были получены схемы замещения, содержащие только по два контура по каждой оси ротора. При этом рассматривались случаи, когда при синтезе использовались и не использовались комплексные проводимости при $s = 1$. При использовании $y_d(js)_{s=1}$ и $y_q(js)_{s=1}$ рассматривались два варианта двухконтурных схем. В первом определялись только параметры одного эквивалентного контура (параметры ОБГ задавались). В этом случае погрешность в частотной характеристике $y_d(js)$ для действительных составляющих достигала 30 %, а для мнимых – превышала 90 %. Для характеристик по поперечной оси максимальная

погрешность не превышала 30 %. Была также синтезирована схема, когда определялись параметры двух роторных контуров. Один из них принимался в качестве ОБГ. В этом случае несовпадение исходной и расчетной частотных характеристик по продольной оси не превышало 15 % для вещественной и 40 % для мнимой составляющих. При синтезе схемы замещения, когда не использовались комплексы $y_d(js)_{s=1}$ и $y_q(js)_{s=1}$, погрешность характеристики по продольной оси не превысила 30 % в области скольжений ротора от 1 до 0,5. При $s = 1$ несовпадение достигло 50 %. При этом значения комплексных проводимостей при неподвижном роторе оказались равными:

$$y_d(js)_{s=1} = 4,546 + j0,226,$$

$$y_q(js)_{s=1} = 4,014 + j0,738.$$

Сопоставление с экспериментальными значениями (табл. 2) показывает, что мнимые составляющие уменьшились по продольной оси в 2,18 раза, по поперечной – в 1,43 раза.

На рис. 1 приведены результаты расчета изменения электромагнитного момента после НАПВ с углом $\delta_0 = 137^\circ$.

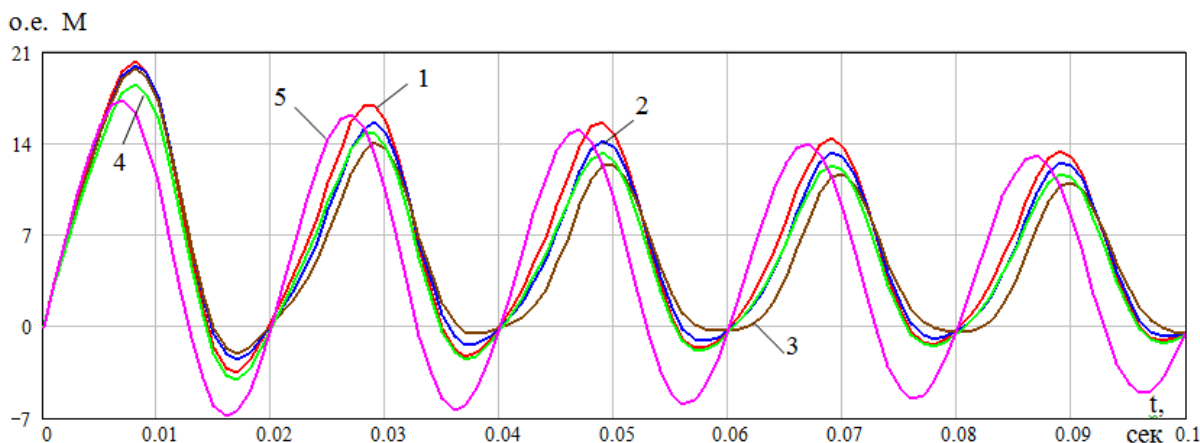


Рисунок 1 – Изменения электромагнитного момента после НАПВ турбогенератора типа ТГВ-300 при угле включения $\delta_0 = 137^\circ$: 1 – расчет по исходной схеме замещения; 2 – то же по схеме, синтезированной без учета параметров ОБГ; 3 – то же по схеме, синтезированной с использованием параметров ОБГ; 4 – то же по схеме, полученной без учета комплекса $s = 1$; 5 – то же по методике [2]

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что расчет первого максимального значения электромагнитного момента по схемам замещения полученным при использовании $y_d(js)_{s=1}$ и $y_q(js)_{s=1}$ практически совпал с расчетом по полным схемам замещения. Однако в последующем переходном режиме имеет место существенное отличие. Так максимальная погрешность при времени 0,05 с (третий максимум) достигает 20,6 %.

Моделирование с использованием схемы, которая синтезировалась без использования

комплексов $y_d(js)_{s=1}$ и $y_q(js)_{s=1}$, показало, что имеет место несовпадение даже первого максимального значения электромагнитного момента. Ошибка превысила 9 %.

Для оценки влияния активных сопротивлений роторных контуров для гидрогенератора типа СВ-1500/200-88 был выполнен расчет для случая, когда в схеме замещения по поперечной оси было увеличено в 10 раз активное сопротивление второго демпферного контура. Значение комплексной проводимости при $s = 1$ оказалось равным

$y_d(js)_{s=1} = 5,81 + j 1,05$. По сравнению с исходным значением мнимая составляющая

увеличилась в 5,15 раз. Результаты расчетов для такой схемы показаны на рис. 2.

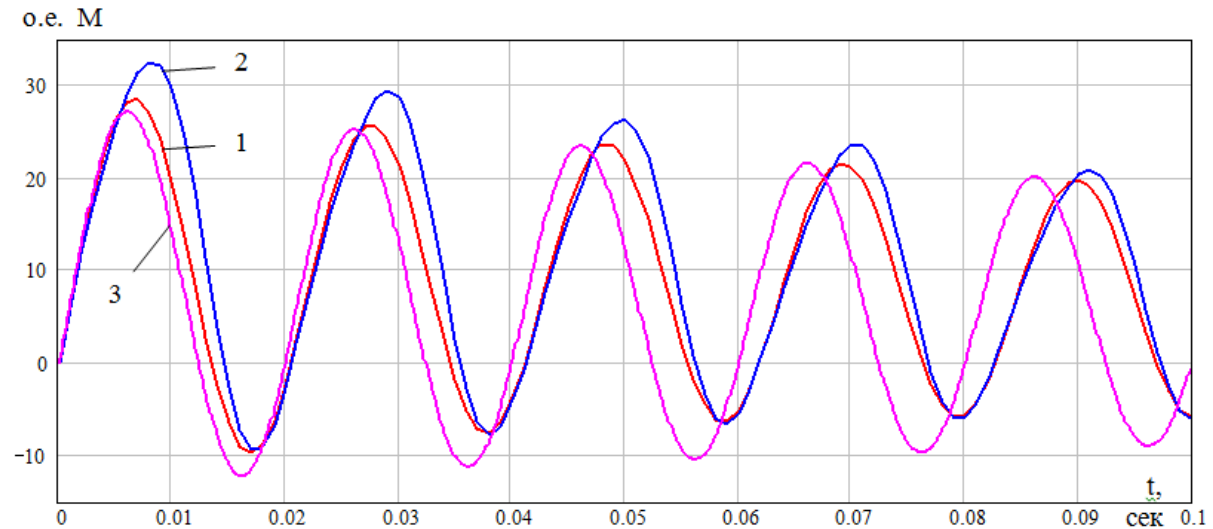


Рисунок 2 – Изменение электромагнитного момента после НАПВ гидрогенератора типа СВ-1500/200-88 при угле включения $\delta_0 = 125^\circ$: 1 – расчет по исходной многоконтурной схеме замещения; 2 – то же при увеличении активного сопротивления второго демпферного контура в 10 раз; 3 – то же по методике [2]

Видно, что увеличение мнимой составляющей комплекса $y_q(js)_{s=1}$ привело к соответствующему увеличению максимального значения электромагнитного момента как для первого, так и для последующих максимумов более чем на 16 %.

Т. о., выполненные исследования показали, что использование упрощенных соотношений для определения электромагнитных моментов приводит к заниженным его значениям по сравнению с точной моделью генератора, основанной на дифференциальных уравнениях и многоконтурных схемах замещения по осям магнитной симметрии ротора.

Выводы

Впервые показано, что для определения максимального значения электромагнитного момента математическая модель синхронного генератора должна соответствовать значению комплексной проводимости $y(js)_{s=1}$, измеренной со стороны обмотки статора при неподвижном роторе, а не значениям сверхпереходных индуктивных сопротивлений $X''_{ds \rightarrow \infty}$ и $X''_{qs \rightarrow \infty}$. Это позволит уточнить условия допустимости применения НАПВ в электрических системах.

Для точного предопределения электромагнитного момента на протяжении всего переходного процесса необходимо, чтобы математическая модель генератора была адекватна его экспериментальным частотным характеристикам проводимостей со стороны обмотки статора во всем диапазоне скольжений

ротора. Это позволит повысить эффективность применения НАПВ как средства ресинхронизации в конкретных условиях работы электроэнергетической системы.

Литература

1. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. – 14-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1986. – 288 с.
2. Хачатуров А. А. Несинхронные включения и ресинхронизация в энергосистемах. Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: «Энергия», 1977. – 176 с.
3. Ларин А. М. Новый подход к определению частотных характеристик синхронных машин по данным опытов внезапного трехфазного короткого замыкания / А. М. Ларин, А. А. Шеина // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: «Електротехніка і енергетика» – Донецьк: ДонНТУ, 2011 – № 10 (180) – С. 100-107.
4. Лесник В. А. Исследование несинхронных включений генераторов в сеть / В. А. Лесник, Л. А. Мазуренко, Г. М. Федоренко, В. И. Чередник, А. П. Грубой // Техническая электродинамика. – 2009. – № 1. – С. 32-34.
5. Ларин А. М. Исследование несинхронных АПВ турбогенератора типа ТГВ-300 / А. М. Ларин, Ю. В. Зудихин, Н. О. Лаврищев // Материалы 5-й международной научно-практической конференции. Инновационные перспективы Донбасса. Т. 2: Перспективы развития

электротехнических, электромеханических и энергосберегающих систем. – Донецк: ДонНТУ, 2019. – С. 72-79.

6. Гришанов С. А. Анализ математических моделей генератора для исследования асинхронных режимов // Завалишинские чтения'17: сб. докл. / СПб.: ГУАП, 2017. – С. 135 – 139.

7. Гришанов С. А. Получение параметров математических моделей генераторов, используемых в компьютерных программах имитационного моделирования / С. А. Гришанов, Д. А. Свищев // Завалишинские чтения'19: сб. докл. / СПб.: ГУАП, 2019. – С. 153-159.

8. Рогозин Г. Г. Расчет параметров эквивалентных роторных контуров синхронных машин по их экспериментальным частотным характеристикам / Г. Г. Рогозин, А. М. Ларин // Электричество. - 1974. - № 6. - С. 10-13.

9. Лоханин К. К. Еще раз о математическом моделировании синхронных и асинхронизированных машин при анализе процессов в энергосистемах / К. К. Лоханин, Л. Г. Мамиконянц // Электричество. – 2000. - № 2. – С. 14-22.

10. IEEE Std 1110-2002 - IEEE Guide for Synchronous Generator Modeling Practices and Applications in Power System Stability Analyses, pp. 1-72, 2003.

11. DlgSILENT PowerFactory. Technical Reference Documentation: Synchronous Machine, ElmSym, TypSym. / Germany, GOMARINGEN: DlgSILENT, pp. 1-56, 2016.

12. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. - М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. - 288 с.

Ларин А. М., Гришанов С. А., Зори С. А. Анализ влияния модели синхронных генераторов на точность моделирования переходных процессов при несинхронных повторных включениях. На основании исследования результатов многовариантного математического моделирования электромагнитных и электромеханических переходных процессов при включениях турбо- и гидрогенераторов в сеть обоснованы модели синхронных машин минимальной сложности в форме частотных характеристик или эквивалентных схем замещения, что позволит повысить эффективность применения несинхронных автоматических повторных включений, как средства восстановления синхронизма после ликвидации асинхронного режима в электрической системе.

Ключевые слова: турбогенератор, гидрогенератор, схема замещения, моделирование, переходный процесс, несинхронное включение, электромагнитный момент

Larin A., Grishanov S., Zori S. Analysis of the influence of synchronous generators model on the accuracy of the transients' simulation during non-synchronous repeated switching. Models of minimal complexity synchronous machines are justified in the form of frequency characteristics or equivalent circuits based on the researching of the multivariate mathematical modeling results of electromagnetic and electromechanical transients with the turbo and hydrogenerators inclusion in the network. This will improve the efficiency of the non-synchronous automatic repeated switching use as a means synchronism restoring after eliminating the asynchronous mode in the electrical system.

Keywords: turbogenerator, hydrogenerator, equivalent circuit, modeling, transient, non-synchronous inclusion, electromagnetic moment

Статья поступила в редакцию 19.04.2020
Рекомендована к публикации профессором Мальчевой Р. В.

Анализ возможностей использования существующих словарей для пополнения онтологии

Н. К. Андриевская, А. И. Секирин, С. В. Канатуш
Донецкий национальный технический университет, г. Донецк
nataandr@yandex.ru

Аннотация

Статья посвящена актуальной проблематике автоматического и полуавтоматического пополнения предметных онтологий новыми понятиями. Предложен подход для формирования нижних уровней онтологии на основе знаний, полученных из словарных определений готовых словарей. Проанализированы источники онтологических описаний предметных областей, в частности, словарь WordNet и его русский аналог RussNet, а также ресурсы Semantic MediaWiki: семантическая Википедия (Wikipedia) и Викисловарь (Wiktionary). Разработан программный модуль, используемый для поиска словарных определений и проверена его работа на тестовых примерах.

Введение

В последнее время при разработке информационных систем (ИС) различного назначения наметился переход на качественно новый уровень представления и обработки информации – семантический уровень, что позволит учитывать смысл (содержание) документов, извлекая из них важные для пользователя знания [1]. Появился целый класс систем, получивших название систем управления знаниями (Knowledge Management Systems – KMS). Каркасом таких систем является онтология, играющая основную роль в описании знаний о некоторой предметной области.

Методы и средства наполнения онтологий были и остаются самым слабым звеном в процессе проектирования систем управления знаниями. Большинство онтологий создаются вручную, что вызывает огромные сложности при разработке прикладных онтологий из-за чрезвычайно большого объема обрабатываемой информации. Для пополнения таких онтологий разрабатываются формализмы и методы, позволяющие автоматизировать данный процесс. По тематике SOAT (Semi-automatic domain Ontology Acquisition Tool) выполнено значительное количество исследований и написано немало работ. Задача создания и пополнения онтологий на основе уже существующих знаний находится сегодня в фокусе внимания, что говорит одновременно и о ее актуальности, и о ее нерешенности в целом.

Автоматическое и полуавтоматическое пополнение онтологии является чрезвычайно актуальной задачей. При автоматическом и полуавтоматическом формировании онтологий нижних уровней следует использовать возможности получения знаний из открытых источников Интернет, а также выполнить подбор существующих междоменных онтологий и

словарей при населении классов экземплярами [2].

В работе [3] были изучены подходы к созданию онтологий предметной области и предложен комбинированный способ ее формирования, основанный на повторном использовании уже существующих онтологий, которые охватывают широкий спектр как общих, так и междисциплинарных знаний и хорошо поддерживается благодаря усилиям открытого сообщества.

В системе управления информационными ресурсами научно-образовательных организаций (OKMS – organization's knowledge management system) существует своя специфика разрабатываемой онтологии. Во-первых, вопрос ручного заполнения разрабатываемой онтологии представляется крайне сложным и длительным. Во-вторых, для обеспечения языковой компетентности, достаточной для построения онтологии предметной области на базе автоматического разбора текстовых корпусов, OKMS сама должна обладать знаниями общими (языковыми) и специальными, (относящимися к данной ПО). Такая KMS должна, по сути, объединять в себе несколько онтологий: онтологию русского и английского языков и базовую онтологию ПО. Например, для благополучного функционирования разрабатываемой системы в условиях кафедры Автоматизированных систем управления ДонНТУ необходима терминологическая информация и на русском, и на английском языке, а также направленность на предметную область современных ИТ и программирования, а не только на основные языковые словари.

Важным принципом успешного функционирования ИС, построенных с помощью онтологического подхода, является качество онтологической модели, которое во многом

определяется полнотой учета наиболее значимых концептов предметной области. Автоматические и полуавтоматические способы пополнения онтологий значительно повысят эффективность построения онтологий.

Постановка задачи

Одним из самых распространенных способов создания онтологий и ее пополнения является способ, базирующийся на использовании словарных концептов из электронных словарей, тезаурусов. В связи с этим, чрезвычайно важным становится подбор различных словарей, что и является основной целью исследований данной работы.

Проведем исследования по определению эффективности и целесообразности использования того или иного словаря для пополнения предметной онтологии системы управления информационными ресурсами научно-образовательных организаций.

Для исследований будем выполнять поиск слов по различным ключам в тестовых фрагментах текстов, наполненных множеством слов по тематике информационных технологий, программирования и вычислительной техники. Результаты поиска в дальнейшем будут использоваться для формирования расширенных поисковых запросов, для наполнения онтологий, для формирования списка ключевых слов и наиболее часто встречающихся слов, а также в других алгоритмах при функционировании ИС.

Для проверки эффективности работы того или иного словаря, проделаем следующие шаги:

- выполним поиск слов по ключу в текстах;
- рассчитаем показатели эффективности поиска;
- сравним результаты и подведем итоги.

При проверке эффективности работы словаря будут оцениваться следующие показатели:

- количество найденных слов;
- релевантность найденных слов;
- скорость поиска;
- кривые «полнота-точность»;
- наличие API.

Среди тестируемых словарей будут проанализированы следующие: WordNet, RussNet, Википедия, Wiktionary.

Для точного фиксирования результатов оценки качества поисковой системы будем использовать следующие показатели [4]:

- полнота (recall, R) – доля релевантных документов в выборке, по отношению ко всем релевантным документам коллекции;
- точность (precision, P) – доля релевантных документов в выборке, по отношению ко всем документам в выборке;

– коэффициент F -мера (F) – усредненная величина, среднее гармоническое между полнотой и точностью;

– коэффициент ошибки (E) – вероятность нахождения нерелевантного ресурса и определяется, как отношение числа найденных нерелевантных документов к общему числу нерелевантных документов в базе.

Для исследования эффективности поисковой системы с помощью нескольких запросов, для i -го запроса коэффициенты полноты R_i и точности P_i можно записать в следующем виде [5]:

$$R_i = \frac{a_i}{a_i + c_i}, \quad (1)$$

$$P_i = \frac{a_i}{a_i + b_i}, \quad (2)$$

где a – количество полученных в результате поиска релевантных документов;

b – количество полученных в результате поиска нерелевантных документов;

c – число релевантных документов в поисковом массиве, не выданных по запросу;

d – число нерелевантных документов, не выданных по запросу.

Для оценки часто используются и дополнительные оценки – коэффициент F и коэффициент ошибки E [5]:

$$F = \frac{b}{b + d}; \quad (3)$$

$$E = \frac{b + c}{a + b + c + d}. \quad (4)$$

Т. к. значения коэффициентов полноты и точности определяются однозначно для каждого из запросов пользователей, то это позволяет вычислить средние значения для фиксированных интервалов и построить кривую «полнота-точность», которая может использоваться для оценки качества. В идеальной поисковой системе коэффициенты полноты и точности равны единице. В реальных поисковых системах коэффициент полноты поиска должен достигать значений 0,7–0,9. Т. о., для определения эффективности использования разных словарей проведем вышеуказанные исследования.

Тестирование словаря WordNet

Следует отметить, что понятия данные, информация и знания отличаются друг от друга. Данные представляют собой фактическую информацию об объектах, процессах, информация – это результат преобразования и анализа данных, а знания – это

структурированные зафиксированные данные плюс некоторые взаимосвязи между ними.

Наиболее часто встречается в работах исследователей по данному вопросу использование словаря WordNet, разработанного в Princeton University. Словарь содержит четыре семантические сети для описания существительных, глаголов, прилагательных и наречий. Единицей хранения в тезаурусе является синсет-набор синонимов, связанных между собой различными семантическими отношениями. Имеет возможность задавать предметную область. WordNet имеет API, но он способен работать лишь с английским языком. Одним из больших преимуществ является возможность быстрого поиска семантических отношений (прямые гипонимы, гиперонимы, синонимы и др.) и лексических отношений [6].

Результат выделения найденных слов в результате работы программного модуля со словарем WordNet приведен на рис. 1.

Ненайденные слова по ключам в этом фрагменте следующие: *Nginx*, *PHP*, *MySQL*, *PostgreSQL*, *SQLite*, *SQL*, *MacOS*, *Android*, *Google*, *Kotlin*, *Apple*, *Swift*, *iOS* *Objective-C*, *SOLID*, *DHCP*, *IP*, *UDP*.

Let us say you want to save precious bandwidth and develop locally. In this case, you will want to install a web server, such as **Apache**, and of course PHP. If you need you can also use Nginx. You will most likely want to install a database as well, such as MySQL, PostgreSQL or SQLite after all all these ones use SQL. **It** is easy to setup a web server with PHP support on any operating system, including MacOS, **Linux** and **Windows**. For developing on Android platform from Google, firstly, you need knowledge of **Java** or Kotlin. And for iOS platform from Apple you probably need to know Swift or more older Objective-C. Of course, in addition to the above, you should know the principles of SOLID and some patterns. Knowledge of internet protocols such as DHCP, IP, **TCP**, **HTTP**, UDP e.t.c will not be superfluous.

Рисунок 1 – Результат работы программного модуля для словаря WordNet

При визуальной оценке качества поиска можем сделать вывод, что качество поиска неудовлетворительное для данного фрагмента текста. Чтобы количественно оценить параметры качества, сведем результаты поиска в табл. 1, а результаты расчетов в табл. 2.

Таблица 1 – Результаты поисковых запросов для WordNet

№	Ключ	WordNet	Всего слов в коллекции
1	operating system	Linux, Windows	Linux, Windows, Android, MacOS, iOS
2	computer languages, programming language	Java	PHP, SQL, Java, Kotlin, Swift, Objective-C
3	server	HTTP	Apache, Nginx
4	protocol	TCP, HTTP	DHCP, IP, TCP, HTTP, UDP
..	..	..	..
20	database	MySQL, PostgreSQL	MySQL, PostgreSQL, SQLite

Таблица 2 – Расчет параметров для WordNet

№	a	c	b	d	R %	P %	F %	E %
1	2	0	3	0	100	40	100	60
2	1	0	5	0	100	17	100	83
3	0	1	2	3	0	0	40	50
4	6	2	3	2	75	66	60	38
..	..	..	..	..	..	..	..	..
20	2	0	1	0	100	67	100	33
Average					70	45	46	38

Среднее арифметическое время выполнения скрипта: 3,49756 секунд.

Кривая «полнота-точность» (рис. 2) также показывает, что для отдельных поисковых запросов были извлечены нерелевантные данные, что подтверждает нестабильность результатов поиска для некоторых предметных областей.

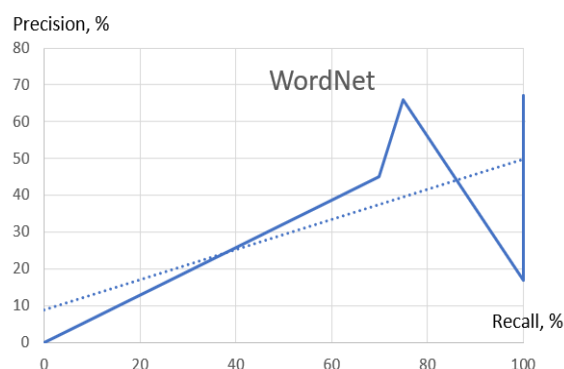


Рисунок 2 – Кривая «полнота-точность» при использовании WordNet

Анализ словаря RussNet

Поскольку наша задача состоит в том, чтобы обрабатывать и русскоязычные тексты, которые, тем не менее, содержат англоязычную терминологию по предметной области

информационных технологий и вычислительной техники, нам нужно найти способы пополнения русскоязычной терминологией.

Аналогией WordNet для русского языка считается RussNet. Основной единицей также является синсет, но существует его отличие от английского словаря, которое состоит в наличии дополнительных семантических связей.

Словарь RussNet является оригинальным ресурсом в том смысле, что он не переводится с Принстонского WordNet, а создается как отдельный ресурс [7].

Поскольку русскоязычных ресурсов мало, то данный словарь мы будем использовать в работе системы без подробного тестирования его работы.

Тестирование Википедии

С развитием семантических технологий WWW появляется новая приоритетная возможность использования технологий Semantic Web для пополнения онтологий. Одним из источников онтологического описания предметных областей является семантическая Википедия. Т. о., набирает популярность способ пополнения онтологии с использованием Википедии в качестве источника данных для извлечения знаний из систем.

Технология Wiki – современная интеллектуальная технология, позволяющая использовать модели знаний и выдавать поисковые запросы пользователям. MediaWiki является свободной программой и распространяется на условиях общественной лицензии GNU [8].

В Semantic MediaWiki [9] существует свой собственный встроенный инструмент для экспорта в RDF, позволяющий извлекать размеченную семантическую информацию из списка страниц [10].

При разработке программного модуля были использованы следующие программные компоненты (библиотеки):

– библиотека Python WikipediaBot Framework [11]. Она использует MediaWiki API (специальный интерфейс прикладного программирования) для взаимодействия с MediaWiki-системой для авторизации, получения данных и внесения изменений.

– библиотека RDFLib [12] сохраняет в файл на языке OWL.

Пример использования MediaWiki для поиска изображен на рис. 3. Сведем результаты поиска в табл. 3, а результаты расчетов в табл. 4.

```
array (size=10)
  0 =>
    array (size=7)
      'ns' => int 0
      'title' => string 'MySQL' (length=5)
      'pageid' => int 16257
      'size' => int 54637
      'wordcount' => int 2523
      'snippet' => string '<span class="searchmatch">MySQL<'
      'timestamp' => string '2020-05-29T11:21:04Z' (length=
  1 =>
    array (size=7)
      'ns' => int 0
      'title' => string 'MySQL Workbench' (length=15)
      'pageid' => int 2295460
      'size' => int 9432
      'wordcount' => int 545
      'snippet' => string '<span class="searchmatch">MySQL<'
      'timestamp' => string '2019-12-16T05:04:40Z' (length=
```

Рисунок 3 – Развернутые результаты поиска при использовании MediaWiki API

Таблица 3 – Результаты запросов с использованием MediaWiki API

№	К	MediaWiki API	Всего слов в коллекции
1	MySQL	MySQL, MySQL Workbench, MySQL Cluster, MySQL AB, LAMP (software bundle), SQL injection, MySQLi, MySQL Archive, List of Apache–MySQL–PHP packages, Michael Widenius	MySQL, MySQL Workbench, MySQL Cluster, MySQL AB, LAMP (software bundle), SQL injection, MySQLi, MySQL Archive, List of Apache–MySQL–PHP packages, Michael Widenius
2	SQL	SQL, Microsoft SQL Server, SQL injection, NoSQL, MySQL, History of Microsoft SQL Server, PostgreSQL, PL/SQL, Join (SQL), Transact-SQL	SQL, Microsoft SQL Server, SQL injection, NoSQL, MySQL, History of Microsoft SQL Server, PostgreSQL, PL/SQL, Join (SQL), Transact-SQL, Structured Query Language, ESQ, PL / SQL, Transact-SQL, T-SQL, QL, HSQLDB
-		-	-
20	сеть	Magnit, Heather Marsh, STS (TV channel), Chechnya, Russian LGBT Network, Moscow City Telephone Network, LGBT rights in Russia, Mado (food company), Kuzina (confectionery chain), Papa John's Pizza	net, mesh, grid, network, сёрка, сетевой

Таблица 4 – Расчет параметров эффективности поиска с MediaWiki API

№	a	c	b	d	R %	P %	F %	E %
1	10	8	0	0	56	100	0	44
2	10	4	0	0	71	100	0	29
3	10	0	0	0	100	100	0	0
4	13	9	1	0	60	92	100	43
5	9	2	1	0	81	90	100	25
..	..	..	..	..	..	..	..	..
20	0	10	4	2	0	0	66	88
Average					59	81	67	44

На рис. 4 приведена кривая «полнота-точность» при использовании Wikipedia

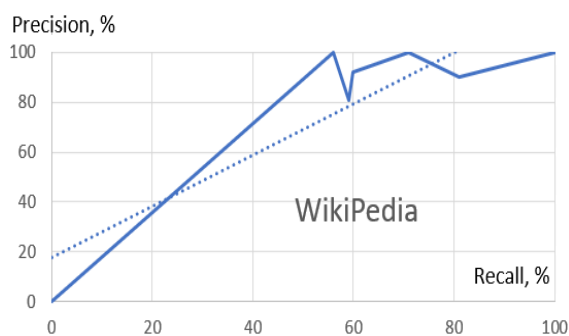


Рисунок 4 – Кривая «полнота-точность» при использовании Wikipedia

Выполнив анализ результатов, видим, что показатели эффективности поиска лучше, чем были при использовании словаря WordNet, что подтверждает большую наполненность Wikipedia предметными данными, но тем не менее велика и выдача ошибочных данных.

Следует отметить, что провал наблюдается в основном для русскоязычных терминов. Для улучшения качества поиска был использован поиск по англоязычным терминам с последующим автоматическим переводом с помощью модуля Яндекс.Переводчик API [13].

Полученные результаты приведены на рис. 5. Другие примеры показали, что собственные названия, например, Siri, MacOS, как нам и требуется, не переводятся.

Web Перевод: Web
Web (programming system) Перевод: Веб (система)
Dark web Перевод: Темная паутина
Web browser Перевод: веб-браузер
Web mining Перевод: Веб майнинг
Web page Перевод: страница в Интернете
Web colors Перевод: Веб-цвета
Web application Перевод: веб приложение
Web server Перевод: веб сервер
Website Перевод: Веб-сайт

Рисунок 5 – Фрагмент работы модуля перевода

Тестирование словаря Wiktionary

Викисловарь Wiktionary [14] – это свободно пополняемый многофункциональный многоязычный онлайн словарь и тезаурус. Wiktionary, как и все проекты на движке MediaWiki имеет API, позволяющее эффективно искать необходимую информацию. Среди особых отличий стоит выделить многоязычность платформы и единый API для всех Wiki-проектов. Кроме этого, фонд Викимедиа регулярно публикует дампы каждого из своих проектов бесплатно. Эти дампы доступны в виде больших XML-файлов, которые можно импортировать в базу данных SQL с помощью специального программного обеспечения «MWDumper», что позволит локально использовать ресурс и значительно сократить время поиска по сравнению с Web версией.

Кроме словарных входов с толкованиями, семантическими отношениями и переводами, Wiktionary содержит словарные пометы. По сравнению с WordNet, наиболее близким аналогом среди электронных словарей, включающих словарные пометы и находящихся в открытом доступе, Wiktionary содержит около 370 помет против 170 WordNet [15]. Wiktionary превосходит WordNet по следующим параметрам: больший объем и более быстрое обновление материала (последнее особенно актуально); большее количество редакторов (сотни редакторов в Английском Викисловаре, десятки – в Русском Викисловаре).

Редакторами Викисловарей разработана система категорий словарных помет, призванная упорядочить и систематизировать словарные пометы [15]. Наиболее детально на данный момент в Английском Викисловаре проработаны категории помет предметных областей (topical на рис. 6).

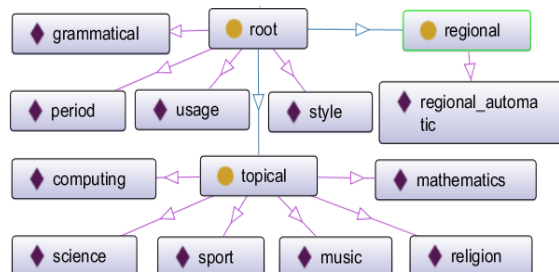


Рисунок 6 – Категории помет предметных областей для словаря Wiktionary

Выделим в фрагменте все найденные слова по тематике. Wiktionary дал следующий результат (рис. 7).

Ненайденные слова: MySQL, PostgreSQL, SQLite, MacOS, iOS Objective-C.

Сведем результаты поиска в табл. 5, а результаты расчетов параметров его эффективности в табл. 6.

Таблица 5 – Результаты поисковых запросов с Wiktionary

№	Ключ	Wiktionary	Всего слов в коллекции
1	operating system	Linux, Windows, Android	Linux, Windows, Android, MacOS, iOS
2	computer languages, programming language	PHP, SQL, Java, Kotlin, Swift	PHP, SQL, Java, Kotlin, Swift, Objective-C
3	server	Apache, Nginx	Apache, Nginx
4	protocol	DHCP, IP, TCP, HTTP, UDP	DHCP, IP, TCP, HTTP, UDP
..	..	..	..
20	database	MySQL, PostgreSQL, SQLite	MySQL, PostgreSQL, SQLite, SQL Linux

Let us say you want to save precious bandwidth and develop locally. In this case, you will want to install a web server, such as **Apache**, and of course **PHP**. If you need you can also use **Nginx**. You will most likely want to install a database as well, such as **MySQL**, **PostgreSQL** or **SQLite** after all all these ones use **SQL**. It is easy to setup a web server with **PHP** support on any operating system, including **MacOS**, **Linux** and **Windows**. For developing on **Android** platform from **Google**, firstly, you need knowledge of **Java** or **Kotlin**. And for **iOS** platform from Apple you probably need to know **Swift** or more older **Objective-C**. Of course, in addition to the above, you should know the principles of **SOLID** and some patterns. Knowledge of internet protocols such as **DHCP**, **IP**, **TCP**, **HTTP**, **UDP** e.t.c will not be superfluous.

Рисунок 7 – Результат работы программного модуля для словаря Wiktionary

Таблица 6 – Расчет параметров с Wiktionary

№	a	c	b	d	R %	P %	F %	E %
1	3	2	0	0	60	100	0	66
2	5	1	0	0	83	100	0	20
3	2	0	0	0	100	100	0	0
4	5	0	0	0	100	100	0	0
..	..	..	..	..	..	..	..	..
20	3	0	1	0	75	25	100	33
Average					84	86	85	43

Таблица 7 – Результат поискового запроса для Wiktionary с уточнением предметной области поиска

№	К	WordNet	Всего слов в коллекции
1	SQL	SQL, Microsoft SQL Server, SQL injection, NoSQL, MySQL, History of Microsoft SQL Server, PostgreSQL, PL/SQL, Join (SQL), Transact-SQL	SQL, Microsoft SQL Server, SQL injection, NoSQL, MySQL, History of Microsoft SQL Server, PostgreSQL, PL/SQL, Join (SQL), Transact-SQL, Structured Query Language, ESQL, T-SQL, QL, HSQldb
2	MySQL	MySQL, MySQL Workbench, MySQL Cluster, MySQL AB, LAMP (software bundle), SQL injection, MySQLi, MySQL Archive, List of Apache–MySQL–PHP packages, Michael Widenius	MySQL, MySQL Workbench, MySQL Cluster, MySQL AB, LAMP (software bundle), SQL injection, MySQLi, MySQL Archive, List of Apache–MySQL–PHP packages, Michael Widenius, MariaDB
-	-	-	-
20	сеть	net, mesh, grid, network, system, пúты, сётка, сплетёние, сетевуха, сётка, сетевой, сеточный	net, mesh, grid, network, system, пúты, сётка, сплетёние, сетевуха, сётка, сетевой, сеточный

Кривая «полнота-точность» для словаря Wiktionary приведена на рис. 8

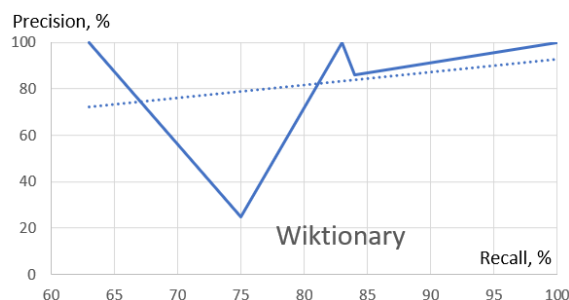


Рисунок 8 – Кривая «полнота-точность» для Wiktionary

Среднее арифметическое время выполнения скрипта в среде Интернет: 23,458 секунд. Среднее арифметическое время выполнения скрипта при локально установленном словаре значительно уменьшается и составляет всего 2,8 секунды.

Судя по параметрам и форме кривой, результаты, возвращенные этим запросом, лучшего качества, чем предыдущие. Но тем не менее есть провалы по определенным терминам. Выполним еще один запрос с уточнением предметной области поиска (табл. 7, 8)

Кривая «полнота-точность» для Wiktionary с уточнением предметной области приведена на рис 9.

Таблица 8 – Расчет параметров для Wiktionary с уточнением предметной области

№	a	c	b	d	R %	P %	F %	E %
1	10	1	5	0	91	67	1	10
2	7	3	1	0	70	88	2	7
3	8	3	0	1	72	100	3	8
4	10	1	2	0	91	83	4	10
5	2	1	1	1	67	67	50	50
..	..	..	..	..	..	..	..	..
20	7	5	0	0	58	100	20	7
Average					82	92	87	31

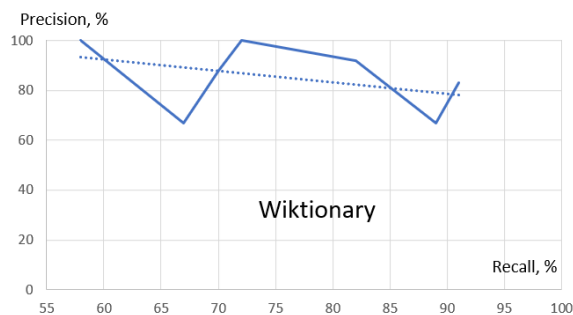


Рисунок 9 – Кривая «полнота-точность» для Wiktionary с уточнением предметной области поиска

Фрагмент программного модуля, содержащего описание некоторых рабочих классов, приведен на рис. 10.

```
class WikiSemantic implements ISemanticParsable
{
    const TERMS_TAG = 'div.mw-parser-output ol li';
    private $parser; private $wikiApi;
    public function __construct()
    {
        $this->parser = new PHPQueryParser();
        $this->wikiApi = new WikipediaApi();
    }
    public function getTByW(string $word): string
    {
        return $this->parser->ParseText($this->wikiApi->GetWikiPage($word),
            self::TERMS_TAG);
    }
}
class WordSemantic implements ISemanticParsable
{
    private $wordnet_api;
    public function __construct() {
        $this->wordnet_api = new WordNetApi();
    }
    public function getTByW(string $word): string {
        return $this->wordnet_api->getSynsetsGloss($word);
    }
}
```

Рисунок 10 – Фрагмент описания основных классов программного модуля

Реализованный программный модуль использует следующие библиотеки:

- cURL – библиотека функций, которая позволяет взаимодействовать с множеством различных серверов по различным протоколам (http, https, ftp, gopher, telnet и др.) [16]
- PHPQuery – библиотека для парсинга, аналог jQuery на PHP [17];

– MediaWikiApi – веб-служба, обеспечивающая доступ к таким функциям Wiki, как аутентификация, операции над страницами и поиск по Wiki. [10];

– PHP Text Analysis – это библиотека для выполнения задач поиска информации (IR) и обработки естественного языка (NLP) с использованием языка PHP [18];

– phpMorphy – библиотека для морфологического анализа, реализованная на платформе PHP [19].

Выводы и направления дальнейших исследований

Исследования показали, что электронные словари-тезаурусы, такие, как WordNet и его русскоязычный аналог RussNet можно рассматривать как элементы для построения требуемой лингвистической онтологии.

Что касается использования словарей для пополнения предметной онтологии, то здесь преимущества имеют Wiki – ресурсы. Авторы проектов Wiki уделяют большое внимание доступности проекта на многих языках мира, в отличие от WordNet. Но если для реализации конкретной задачи необходимо проводить поиск и анализ специфичных тематических определений, то, как показали исследования, словарь Wiktionary лучше способен справиться с этой задачей. При сравнении кривых «полнота-точность» видим, что в случае использования словаря Wiktionary форма кривой «полнота-точность» более сглаженная и близкая к идеальной.

Т. о., при реализации разрабатываемой ИС следует использовать при пополнении онтологии терминами словарь Wiktionary, т. к. он обладает большей терминологической полнотой и точностью для заданной предметной области и в среднем возвращает большее количество релевантных результатов.

Литература

1. Н. К. Андриевская. Основные принципы и подходы при разработке системы управления профессиональными знаниями сотрудников вуза / Андриевская Н. К. // Информатика и кибернетика. 2019. № 4 (18), с. 49–56
2. Н. К. Андриевская. Разработка прикладной онтологии в системах обработки данных научных и научно-образовательных организаций / Андриевская Н. К. // Вестник ДонНУ. Сер. Г: Технические науки. – 2020. – № 3
3. Н. К. Андриевская. Онтологический подход в системах обработки данных научных и научно-образовательных организаций / Андриевская Н. К. // Проблемы искусственного интеллекта. 2020. № 1 (16), с. 23–36

4. Precision and recall. Статья из Википедии. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Precision_and_recall (дата обращения 25.05.2020). – Текст: электронный
5. Кураленок И. Е. Оценка систем текстового поиска / И. Е. Кураленок, И. С. Некрестьянов // Программирование. – 2002. – № 4.
6. WordNet. A Lexical Database for English. – URL: <https://wordnet.princeton.edu/> (дата обращения 20.05.2020). – Текст: электронный
7. Проект RussNet. – URL: http://project.phil.spbu.ru/RussNet/index_ru.shtml (дата обращения 20.05.2020). – Текст: электронный
8. Портал ресурса MediaWiki – URL: <https://www.mediawiki.org/wiki/MediaWiki> (дата обращения 20.05.2020). – Текст: электронный
9. Портал ресурса Semantic MediaWiki – URL: https://www.semantic-mediawiki.org/wiki/Semantic_MediaWiki (дата обращения 20.05.2020). – Текст: электронный
10. Help:Ontology import – URL: http://semantic-mediawiki.org/wiki/Help:Ontology_import (дата обращения 20.05.2020). – Текст: электронный
11. Python WikipediaBot Framework. Manual:Pywikibot/Overview – URL: <https://www.mediawiki.org/wiki/Manual:Pywikibot/Overview> (дата обращения 20.05.2020). – Текст: электронный
12. Project description – URL: <https://pypi.org/project/rdfliib/> (дата обращения 20.05.2020). – Текст: электронный
13. Translate API – URL: <https://tech.yandex.com/translate/> (дата обращения 20.05.2020). – Текст: электронный
14. Русский Викисловарь – URL: <http://ru.wiktionary.org/> (дата обращения 20.05.2020). – Текст: электронный
15. Крижановский А. А., Смирнов А. В., Круглов В. М., Крижановская Н. Б., Кипяткова И. С. Автоматическое извлечение словарных помет из Русского Викисловаря // Труды СПИИРАН. 2014. Вып. 33, с. 164–185
16. Клиентская библиотека работы с URL. – URL: <https://www.php.net/manual/ru/book.curl.php> (дата обращения 20.05.2020). – Текст: электронный
17. Phpquery – URL: <https://code.google.com/archive/p/phpquery/> (дата обращения 20.05.2020). – Текст: электронный
18. php-text-analysis – URL: <https://packagist.org/packages/php-text-analysis/php-text-analysis> (дата обращения 20.05.2020). – Текст: электронный
19. phpMorphy – URL: <https://sourceforge.net/projects/phpmorphy/files> (дата обращения 20.05.2020). – Текст: электронный

Андриевская Н. К., Секирин А. И., Канатуш С. В. Анализ возможностей использования существующих словарей для пополнения онтологии. Статья посвящена актуальной проблематике автоматического и полуавтоматического пополнения предметных онтологий новыми понятиями. Предложен подход для формирования нижних уровней онтологии на основе знаний, полученных из словарных определений готовых словарей. Проанализированы источники онтологических описаний предметных областей, в частности, словарь WordNet и его русский аналог RussNet, а также ресурсы Semantic MediaWiki: семантическая Википедия (Wikipedia) и Викисловарь (Wiktionary). Разработан программный модуль, используемый для поиска словарных определений и проверена его работа на тестовых примерах.

Ключевые слова: онтология, тезаурус, Semantic Web, Semantic MediaWiki, WordNet, Wiktionary, Wikipedia, RussNet, SOAT

Andrievskaya N., Sekirin A., Kanatush S. The analysis of possibilities to use the ready-made dictionaries for acquiring ontology concepts. The article is devoted to the actual problems of automatic and semi-automatic domain ontology acquisition with new concepts. An approach is proposed for forming the lower levels of ontology based on knowledge to extracted from dictionary definitions of ready-made dictionaries. The sources of ontological definitions of subject areas, in particular, the WordNet dictionary, its Russian counterpart RussNet and Semantic MediaWiki resources: semantic Wikipedia and Wiktionary was analyzed. A software module for searching dictionary definitions has been developed and its operation has been tested on test examples.

Keywords: ontology, thesaurus, Semantic Web, Semantic MediaWiki, WordNet, Wiktionary, Wikipedia, RussNet, SOAT

Статья поступила в редакцию 02.06.2020
Рекомендована к публикации профессором Павлышом В. Н.

Анализ методов обработки и классификации информации в области медицинской и технической диагностики

В. Н. Павлыш*, А. И. Дегонский**, Е. И. Бурлаева***

* Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

** Донецкий национальный медицинский университет, г. Донецк

*** Республиканское предприятие «Энергия Донбасса», г. Донецк
pavlyshvn@mail.ru

Аннотация

Рассматривается задача создания информационного обеспечения систем анализа и управления информацией, представляемой в форме текстовых документов. Анализируются преимущества и недостатки применяемых методов, предлагаются пути совершенствования подходов к решению задачи. Для создания эффективных систем управления информацией требуется совместное применение методов классификации на основе машинного обучения и методов, основанных на знаниях. Характеристики взаимодействий между элементами сложной системы определяются направленностью на выполнение функции системы, внутренними свойствами и определенным порядком

Введение

Важное место в системах медицинской и технической диагностики занимает база данных, содержащая контрольную, входную, текущую и выходную информацию. Обмен информацией является важнейшей частью современной деятельности человека. По оценкам экспертов, около 70 % накопленной и используемой информации находятся в несистематизированной текстовой форме, вследствие чего затрудняется получение требуемых сведений по конкретной тематике. Т. о., возникает острая необходимость в создании систем, позволяющих автоматически систематизировать специализированную информацию [1]. В сложившейся ситуации даже высококвалифицированные эксперты испытывают затруднения по организации поиска документов и распределению полученных текстовых данных по тематикам [2].

В этой связи работы по созданию систем анализа, систематизации и управления специализированной текстовой информацией приобретают особую актуальность. Цель работы – анализ методов и определение путей модификации создания информационной базы систем медицинской и технической диагностики.

Основное содержание работы

В большинстве организаций значительная часть полезных знаний содержится в документальных базах данных, а темпы роста, содержащегося в них количества документов, постоянно увеличивается. Своевременное получение знаний в автоматическом режиме затрудняется слабой упорядоченностью текстов на естественном языке. Такие знания могут быть извлечены экспертом, но с учетом огромного числа

электронных документов их эффективная обработка человеком становится весьма затратной как по времени, так и по используемым ресурсам. А отсутствие возможности вовремя и быстро получить необходимую информацию по нужной теме делает бесполезной большую часть накопленных знаний, как следствие появляется необходимость в управлении, анализе и систематизации текстовой информации.

Анализ и систематизация данных предполагает работу с информацией, ее глубоким осмыслением и принятием адекватных решений по управлению ею. Под систематизацией понимаются объекты, организующиеся в некую систему, на базе выбранного принципа, а система представляет собой совокупность разнородных элементов, предназначенных для достижения поставленной цели.

Основной функцией систем извлечения знаний является информационный поиск полезных сведений в документальных базах. Более точное и быстрое извлечение знаний имеет своей конечной целью информационную поддержку эксперта или автоматизированной системы при принятии решения в поставленной задаче (вопросе). Так изучение процедур принятия решений и организация системы составляет актуальную проблему создания и эксплуатации сложной системы. Сложная система включает в себя системы с большим числом элементов различного типа и с разнородными связями между ними. Связь обеспечивает возникновение и сохранение целостных свойств системы. Она определяется как ограничение степени свободы элементов. Под элементами понимается предел членения системы. Установлением систематизированных связей между элементами исследуемой системы занимается системный анализ. Системный анализ

и управление информацией подразумевает под собой совокупность процедур, системных идей, подходов, теорий и методов, предназначенных для анализа объектов и процессов как систем [3].

Применение системного анализа для построения такой системы означает применение специально разработанных приемов, методик, типовых моделей организации системы и принятия решений. Рассмотрим основные результаты выполненного в исследовании анализа существующих подходов, тенденций и закономерностей управления и систематизации текстовой информации.

Появление новых технологий способствует научному прогрессу. Тенденция увеличения объемов и распространения информации в электронном виде стимулирует активное развитие автоматических систем обработки информации. В большинстве организаций значительная часть полезной информации содержится в электронных базах данных. Организации в ходе своего существования формируют достаточно большие архивы документации. В данных архивах содержатся не только результаты официального документооборота (распоряжения, приказы и пр.), но и техническая документация по выполненным и текущим проектам: планы, технические отчеты, проектная документация и т. д. Значительная часть хранящейся информации оформляется в виде текстового описания, анализ и систематизация которой предполагает ее глубокое осмысление, работу с данными, принятием адекватных решений относительно анализа и управления той или иной ситуацией:

- получение дополнительной информации;
- анализ имеющейся в наличии информации, относящейся к анализируемой проблеме;
- тематическую обработку информации;
- визуализацию и подготовку аналитических отчетов, их верификацию;
- принятие управленческих решений на основе новых знаний.

Большая часть используемых документов формируется в виде текстового описания. В связи с ростом используемых персональных компьютеров в организациях чрезвычайно быстро растет и количество текстовой информации на естественном языке хранящейся в электронном виде. С ростом объема информационного потока специалистам-аналитикам становится все труднее заниматься тематическим анализом информации и ведением аналитических задач вручную при существующих средствах автоматизации. В соответствии с оценками экспертов около 70 % используемых и накопленных цифровых данных находится в несистематизированной текстовой форме и лишь 30 % образуют другие виды данных. Экспоненциальное с течением времени увеличение количества несистематизированных данных приведет по существу к коллапсу традиционной системы распределения и получения текстовой информации.

Как следствие рутинная операция анализа и поиска необходимых данных превращается в малоэффективный и трудоемкий процесс, вызывающий информационную перегрузку пользователей. В данной ситуации особую актуальность приобретают работы по созданию систем автоматически систематизирующих и управляющих текстовой информацией. Как показывает практика, результаты распределения по предметным областям документов «вручную», т. е. путем экспертного отнесения к имеющейся тематике, как правило, не превышает 80 %.

Классификация текста является одним из способов систематизации данных, которая подразумевает распределение текстовых документов по заранее определенным категориям [4]. На стыке двух областей находятся методы классификации текстовых документов, а именно машинного обучения и информационного поиска. Объединяет данные области средства оценки качества классификации информации и средства представления документов. Различия заключаются лишь в способах отнесения документа к соответствующей тематике. Точность используемых методов классификации существенно зависит от выполнения априорных допущений и предположений, также стоит учитывать структуру текстовых данных, например, количество классов, вид «пограничной» области между классами, однородность и размеры классов. Программные разработки, обеспечивающие автоматическую классификацию информационных массивов, существуют, но они, как правило, лишь частично решают проблему автоматической систематизации и управления информацией или ведения аналитических задач. В этой связи возникает необходимость в решении задач создания усовершенствованной системы анализа информации, состоящей в управлении и систематизации текстовых документов.

При построении системы, систематизирующей текстовую информацию, необходимо учесть следующие факторы [5]:

- количество информативных, т. е. полезных для классификации терминов, или признаков, которые, как правило, существенно превосходят количество имеющихся в выборке документов, что затрудняет определение наилучших оценок параметров и обучение методов;
- чрезвычайно велик объем вычислительных операций, используемых для анализа и обработки текстовых документов, что делает процесс классификации крайне трудоемким и дорогостоящим;
- получаемая матрица «документ – термин» оказывается сильно разреженной, т. к. большое число терминов встречается только в нескольких или в одном документе;
- несистематизированная информация не имеет общепринятых правил и единого текстового формата, что делает анализ и обработку документов практически невозможным без разработки

комплексной модели процесса обрабатываемого текстовую информацию, в отличие от систематизированной информации, которая, как правило, содержит фактические сведения, представленные числами.

Для создания эффективных систем управления и систематизации информацией требуется совместное применение методов классификации на основе машинного обучения и методов, основанных на знаниях. Поскольку содержимое и состав анализируемых документов постоянно изменяется, то одним из направлений адаптации к этой динамике является использование данных методов. Целью методов машинного обучения для задачи классификации текстовых документов является построение модели классификации, основанной на обучающем наборе, а далее применении построенной модели для предсказания набора или одного класса, релевантных для нового документа. Представленный подход обеспечивает качество классификации, сравнимое с качеством классификации, производимой человеком.

В задачах текстовой классификации лучше всего зарекомендовали себя метод опорных векторов и метод построения алгоритмических композиций на основе бустинга (улучшения). Анализ российских и зарубежных публикаций показывает, что основные усилия исследователей направлены на построении классификаторов, обладающих высокими показателями точности и полноты. Стоит учитывать, что при разработке методов классифицирующих текстовую информацию, которая имеет высокую размерность, большое число терминов, описывающих документ, отдельное внимание требуют также вопросы быстродействия, т. е. уменьшение времени, затрачиваемого на отнесение документа к одному из классов. В литературе практически нет работ, посвященных проблемам производительности классификаторов, как следствие, проблема быстродействия классификации ложится на плечи разработчиков систем машинного обучения.

При решении практических задач реализация мер, направленных на повышение точности классификации, как правило, приводит к снижению быстродействия. Гарантия высокого быстродействия в крупных поисковых системах является особо важным свойством, для решения задач анализа поисковых запросов, предоставляемых пользователем в режиме реального времени, приоритизация URL (Uniform Resource Locator) адресов web страниц, число которых движется в направлении нескольких миллиардов, для их загрузки в поисковые машины. Стоит учитывать, что подобные системы принадлежат к классу высоконагруженных, т. е. обладают либо большим объемом данных, либо большим количеством одновременных сессий

пользователей, или совокупностью данных критериев. Для решения определенной задачи качество и быстродействие работы являются ключевыми факторами, влияющими на выбор метода, используемого для таких систем.

Т. о., для построения системы является актуальным проведение исследований и разработка программных средств, классификации текстовых документов на основе методов машинного обучения, обеспечивающих высокое быстродействие при сохранении или повышении качества (полноты и точности) классификации.

Существующие алгоритмы классификации можно применять не только для классификации текстовой информации, но и для извлечения из них дополнительной информации. Наличие у системы функции, которой нет у составляющих ее частей и разных по типу и многочисленных связей между отдельно существующими элементами системы, является особенностью, проявляющейся при построении таких сложных систем. Характеристики взаимодействий между элементами сложной системы определяются направленностью на выполнение функции системы, внутренними свойствами и определенным порядком.

В настоящее время, для описания сложных систем используют существующее множество методологий: *ARIS*; *IDEF0*; *UML*; *IDEF3*; *DFD*; *WORKFLOW* и другие; или инструментальные средства такие как: *ERWin*; *PowerDesigner*; *BPWin* и другие [4, 5]. В объектно-ориентированном и структурном анализе применяются средства, моделирующие в форме диаграмм определенного вида деловые отношения и процессы между данными в системе. Данные средства соответствуют определенным видам системных моделей, наибольшее распространение среди которых получили следующие [6, 7]:

- *Integrated Definition (IDEF)* – семейство структурных моделей и соответствующих им диаграмм;
- *DFD (Data Flow Diagrams)* – диаграммы потоков данных;
- *ERD (Entity-Relationship Diagrams)* – диаграммы «сущность-связь»;
- *Workflow* – технология управления потоками работ;
- *BPMN (Business Process Modeling Notation)*;
- *CPN (Color Petri Nets)* – средства имитационного моделирования, основанные на математическом аппарате раскрашенных сетей;
- *объектно-ориентированные методологии на основе унифицированного языка моделирования UML*;
- *интегрированные средства и методологии широкого назначения, например, ARIS.*

Потребность в построении сложных моделей и развитии технологий во многом связано с тем, что объём информации, хранимой на электронных носителях, с каждым годом значительно возрастает, как следствие возникает необходимость в эффективных алгоритмах, предназначенных для анализа и обработки документов, созданных на естественном языке. Усовершенствование алгоритмов, в свою очередь, становится возможным благодаря увеличению производительности и мощности современных компьютеров. Синтаксис языка представляет собой набор структурных компонентов языка, а также правил и характеристик, определяющих связи между компонентами языка.

Для решения задач моделирования сложных систем используются – методологии семейства *ICAM (Integrated Computer – Aided Manufacturing) – IDEF*, использование которых предоставляет возможность анализировать и отображать в различных разрезах модели деятельности широкого спектра сложных систем. При этом глубина и широта обследования процессов в системе определяются самим разработчиком, что предоставляет возможность не перегрузить создаваемую модель излишними данными. Правила, блоки, диаграммы и стрелки являются компонентами синтаксиса *IDEF0*. Блоки демонстрируют функции, определяемые как преобразование, деятельность, действие, процесс или операция. Стрелки демонстрируют материальные объекты или данные, связанные с функциями. Необходимость применения компонент определяют правила, а формат словесного и графического описания моделей обеспечивают диаграммы. *IDEF*-методологии создавались в рамках программы компьютеризации промышленности – *ICAM*, в ходе реализации которой выявилась потребность в разработке методов анализа процессов взаимодействия в производственных системах. Принципиальным требованием, при разработке рассматриваемого семейства методологий, была возможность эффективного обмена информацией между всеми специалистами – участниками программы *ICAM* (отсюда название: *Icam DEFinition – IDEF* другой вариант – *Integrated DEFinition*). После опубликования стандарта он был успешно применен в самых различных областях, показав себя эффективным средством анализа, конструирования и отображения процессов. К семейству *IDEF* в настоящий момент можно отнести следующие стандарты [8, 9, 10].

IDEF0 – Function Modeling – «технология функционального моделирования сложных систем». Используя наглядный графический язык *IDEF0*, исследуемая система появляется перед аналитиками и разработчиками в виде набора взаимосвязанных функциональных

блоков. Первый этап изучения любой системы заключается в построении ее модели средствами *IDEF0*. Методология *IDEF0* является следующим этапом развития известного графического языка описания функциональных систем *SADT (Structured Analysis and Design Technique)*.

IDEF1 – Information Modeling – «технология моделирования информационных потоков внутри системы», использование которой предоставляет возможность анализировать и отображать взаимосвязи и структуру потоков информации.

IDEF1X (IDEF1 Extended) – Data Modeling – технология построения реляционных структур, т.е. баз данных, состоит в построении инфологических моделей данных типа «сущность-связь» (*ERD – Entity-Relationship Diagram*). Обычно, используется для моделирования реляционных баз данных, имеющих непосредственное отношение к рассматриваемой системе.

IDEF2 – Simulation Model Design (проектирование модели поведения) – «технология динамического моделирования систем». Развитие этого стандарта приостановилось на самом начальном этапе из-за достаточно серьезных сложностей анализа динамических систем. Сейчас существуют алгоритмы и их компьютерные реализации, предоставляющие возможность преобразовывать набор статических диаграмм *IDEF0* в динамические модели, созданные на базе «раскрашенных сетей Петри» (*CPN – Color Petri Nets*).

IDEF3 – Process Description Capture (сбор данных по описанию процессов) – «технология документирования процессов, происходящих в системе». При построении и исследовании технологических процессов на предприятиях и в организациях используются подобные системы. Последовательность операций и сценарии для каждого процесса описываются, посредством использования стандарта *IDEF3*, который имеет прямую взаимосвязь с технологией *IDEF0*, причем каждая функция *IDEF0* может быть отображена при помощи отдельного процесса *IDEF3*.

IDEF4 – Object-Oriented Design – «технология построения объектно-ориентированных систем». Использование средства *IDEF4* позволяет наглядно демонстрировать структуру объектов, а также заложенные принципы их взаимодействия, чем позволяет оптимизировать и анализировать сложные объектно-ориентированные системы. Имеет связь с технологией *UML*.

IDEF5 – Ontology Description Capture – «технология онтологического исследования сложных систем». Определение терминов, относящихся к какой-либо предметной области, является онтологией. Набор правил и

использования определенного словаря терминов позволит описать онтологию системы технологии *IDEF5*, на основании которых, в некоторый момент времени, могут быть сформированы достоверные утверждения о состоянии рассматриваемой системы. Выводы о дальнейшей оптимизации и развитии системы формируются на основании данных утверждений.

IDEF6 – Design Rational Capture – «технология использования рационального опыта проектирования». Ее назначение заключается в сохранении рационального опыта проектирования информационных систем используемых для предотвращения структурных ошибок при новом проектировании.

IDEF7 – Information System Auditing – «технология аудита информационной системы».

IDEF8 – User Interface Modeling – «технология проектирования интерфейса пользователя». Применение *IDEF8* фокусирует внимание разработчиков интерфейса на программировании желаемого взаимного поведения пользователя и интерфейса на трех уровнях [9, 10]:

- выполняемой операции, что представляет собой данная операция;
- сценарии взаимодействия, определение которого осуществляется специфической ролью пользователя, т.е. по какому сценарию она должна выполняться тем или иным пользователем;
- на деталях интерфейса, другими словами, какие элементы управления рекомендует интерфейс для выполнения операции.

IDEF9 – Scenario – Driven IS Design – технология анализа имеющихся ограничений и условий, в том числе политических, юридических, физических и их влияния на принимаемые решения в процессе вторичного проектирования.

IDEF10 – Implementation Architecture Modeling – «моделирование архитектуры выполнения, т.е. физической реализации системы» [4].

IDEF11 – Information Artifact Modeling – «информационное моделирование артефактов».

IDEF12 – Organization Modeling – «организационное моделирование».

IDEF13 – Three Schema Mapping Design – «трехсхемное проектирование карт».

IDEF14 – Network Design – «технология моделирования компьютерных сетей». Технология предоставляет возможность выполнять анализ и представление данных при проектировании компьютерных сетей на графическом языке с описанием требований к надежности конфигураций, сетевых компонентов, очередей и тому подобное.

Прежде чем начать построение любой модели важно определить направление модели, а именно ее цель, точку зрения и контекст. Цель используется для определения назначения модели и выявления причины ее создания: инструмент проектирования, функциональная спецификация и т.д. Точка зрения способствует определению того, что может быть «видно» в рамках контекста с определенной «точки зрения» или перспективы. Принятие различных точек зрения зависит от цели, которая подчеркивает многогранность объекта, но в одной модели всегда используется только одна точка зрения. Контекст определяет смысл модели, как части окружающей среды, что определяет границу со средой путем представления внешних интерфейсов – дуг. Контекст модели устанавливает контекстная диаграмма. Ограничение контекста определяется как отправная точка для любого анализа. У аналитика возникает необходимость в принятии решения, о том, что будет главным, центральным элементом, до того, как будет создан самый верхний блок. Каждый следующий шаг необходимо сверять с начальной целью, а те данные, которые ей не соответствуют, откладываются для следующего моделирования.

Выводы

В результате проведенных исследований показано, что управление и систематизация по содержанию большого количества текстов является сложной актуальной задачей. Ее выполнение ограниченным количеством специалистов и затрачиваемым временем в условиях постоянного поступления новой информации практически невозможно. Анализ современных публикаций позволяет утверждать, что существует значительный разрыв между методами систематизации и управления информацией, основанными на машинном обучении, и методами, основанными на знаниях. Выполнен анализ принципов построения систем управления, систематизации и обработки текстовой информации, изучены особенности их работы. Формализация единого универсального системного способа представления знаний позволяет создать соответствующие алгоритмы и инструментальные средства для обработки знаний различного типа единообразным способом и с помощью единого формального аппарата, построение которого осуществляется на основе методов и алгоритмов машинного обучения в рамках анализа специализированной текстовой информации. Решение задачи создания единых основ представления накопленных знаний и управления ими осуществляется за счет интеграции и универсализации существующих способов систематизации таких знаний. Предлагается

способ преобразования знаний, приведенных к единому виду, при помощи моделей в стандартах серии IDEF, выбор компонентов которой осуществляется среди возможных решений на основе специально разработанных приемов, методик и типовых моделей организации системы и принятия решений. Показано, что разработка новой модели управления и систематизации специализированной текстовой информации, и модернизация применяемых в ней методик, методов и алгоритмов системного анализа, искусственного интеллекта и компьютерной лингвистики позволяет повысить эффективность управления, систематизации и обработки специализированной текстовой информации больших объемов с учетом особенностей русскоязычных текстовых документов.

Литература

1. Российский семинар по Оценке Методов Информационного поиска [Электронный ресурс] Труды РОМИП 2010 Казань, 2010. – 214 с. – Режим доступа: <http://romip.ru/romip2010/index.html> (по состоянию на 21.03.2019).
2. Майер–Шенбергер В. Большие данные. Революция, которая изменит то, как мы живем, работаем и мыслим. М.: 2014. – 17 с.
3. Dwyer B. Systems Analysis and Synthesis: Bridging Computer Science and Information Technology / Barry Dwyer; Morgan Kaufmann, 2016. – P 488.
4. Dangeti P. Statistics for Machine Learning / P. Dangeti; Packt Publishing, 2017. – P. 450
5. Ayodele T. O. Types of Machine Learning Algorithms. New Advances in Machine Learning // – INTECH Open Access Pub., 2010. - P. 19–48.
6. Ibrahim H. A H. Taxonomy of Machine Learning Algorithms to classify realtime Interactive applications // International Journal of Computer Networks and Wireless Communications. 2012. Vol. 2. No. 1. P. 69–73.
7. Murphy K. P. Machine Learning: A Probabilistic Perspective / Massachusetts Institute of Technology, 2012. – P. 1067
8. Макаров Р. И. Теория информационных процессов и систем / Учеб. пособие. – Владимир: Изд-во ВлГУ, 2018. – 175 с.
9. Ипатова Э. Р. Методологии и технологии системного проектирования информационных систем / Учебник: монография. – М.: Флинта, 2016. – 300 с.
10. Бурлаева Е. И. Анализ методов преобразования текстов в форму объектов векторного пространства // «Программная инженерия», Т. 10 - № 1 - Москва. - 2019. – С. 30–37.

Павлыш В. Н., Дегонский А. И., Бурлаева Е. И. Анализ методов обработки и классификации информации в области медицинской и технической диагностики. Рассматривается задача создания информационного обеспечения систем анализа и управления информацией, представляемой в форме текстовых документов. Анализируются преимущества и недостатки применяемых методов, предлагаются пути совершенствования подходов к решению задачи. Для создания эффективных систем управления информацией требуется совместное применение методов классификации на основе машинного обучения и методов, основанных на знаниях. Характеристики взаимодействий между элементами сложной системы определяются направленностью на выполнение функции системы, внутренними свойствами и определенным порядком.

Ключевые слова: информация, база данных, классификация, системный анализ, алгоритм.

Pavlysh V., Degonsky A., Burlaeva E. Analysis of methods for processing and classification of information in the field of medical and technical diagnostics. The task of creating information support systems for the analysis and management of information presented in the form of text documents is considered. The advantages and disadvantages of the methods used are analyzed, and ways to improve approaches to solving the problem are proposed. Creating effective information management systems requires the sharing of classification techniques based on machine learning and knowledge-based methods. The characteristics of interactions between elements of a complex system are determined by the focus on the function of the system, internal properties and a certain order.

Keywords: information, database, classification, system analysis, algorithm.

Статья поступила в редакцию 12.05.2020
Рекомендована к публикации профессором Миненко А. С.

Метод эквивалентных отображений в алгоритмах систем управления

О. А. Криводубский

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

oleg.krivodubski.dn@gmail.com

Аннотация

Разработана методика решения задач оперативного управления производственной деятельностью в многоуровневой и многокритериальной системе управления предприятием. Применение методических правил, которые приведены в данной работе, позволит сузить область поиска экстремума, что приводит к сокращению времени решения оптимизационных задач и сокращению итерационных процедур алгоритмов системы управления. Выделение неэквивалентных подмножеств служит исходным материалом для системы управления качеством продукции.

Введение

В современной практике, специалисты, осуществляющие разработку технических, технико-экономических и финансовых систем, вынуждены перебирать многообразие реализованных в мировой практике аналогов. Такое состояние дел, в первую очередь, зависит от квалификации работника, его аналитических способностей, а также от требований Заказчика. Предлагаемые в работе методические правила позволяют сократить процедуры и количество вариантов.

Кроме этого, в задачах систем управления при определении оптимальных значений показателей разработчик сталкивается с большим количеством переменных, характеризующих требуемые показатели. Это приводит к усложнению процедур численного решения оптимизационных задач.

Целью исследования является разработка такой методики и алгоритмов производственного планирования для многоуровневых систем управления, которые будут применимы к ряду объектов с аналогичной структурой.

Анализ литературных источников

В работе [1] обсуждаются современные информационные методы решения задач планирования и управления деятельностью многоуровневых предприятий, рассмотрены многокритериальные постановки задач управления.

Методика формализации переменных, предложенная в [2], позволяет заменить изучение связей между характеристиками объекта изучением отношений между множествами для объектов управления со сложной структурой. В [3] рассмотрены возможности применения теоретико-множественного аппарата к решению различных экономических задач.

В работе [4] представлены особенности и описание использования информационных систем в процессе принятия решений.

Вопрос выбора структуры многоуровневой системы управления описан в статье [5]. Принятие решений в многокритериальных задачах планирования в условиях неопределённости рассмотрено в [6]. Сформулирована задача оптимизации стратегического планирования на предприятии, разработана модель и предложено её решение в условиях многокритериальности в [7].

В [8] рассматриваются проблемы повышения эффективности оперативного планирования и управления производством, позволяющие решить задачу повышения конкурентоспособности промышленного предприятия за счет сокращения сроков поставок продукции, повышения надежности поставок и сокращения затрат.

В работе [9] обсуждаются методологии, которые могут использоваться для оптимизации логистического процесса в цепочке поставок в задаче планирования. Предложены для использования три методологии оптимизации: классическое правило диспетчеризации и два метода мягких вычислений: генетические алгоритмы и оптимизация колоний муравьёв.

Алгоритмы задач оптимизации с целью упреждающего технического обслуживания оборудования промышленного предприятия рассмотрены в [10]. Проблемы инноваций интеллектуальных промышленных и производственных систем, способных в режиме реального времени реагировать на изменения требований клиентов, рассматриваются в работе [11].

В [12] представлена система управления материальными поставками, основанная на теории логистических цепочек в стратегиях интенсификации поставок, обеспечивающих технологическую поддержку передовых методов

управления материальными запасами для предприятий.

В статье [13], представляющей особенный интерес, разработаны матмодели управления выпуском продукции на нижних уровнях производственного процесса, учитывающие время переналадки оборудования при производстве разных видов продукции и позволяют выбрать оптимальные режимы работы оборудования, которые обеспечивают минимальные затраты ресурсов.

Постановка задачи исследования

Разработать методику решения задач оперативного управления производственной деятельностью в многоуровневой и многокритериальной системе управления предприятием.

Основное содержание и результаты работы

В основу методики данной работы положены определение эквивалентности множеств и следствие, что из любых неэквивалентных множеств могут быть извлечены эквивалентные подмножества [14].

Современное предприятие может быть представлено, как пятиуровневая структура, в различной степени подчинённая производственной программе предприятия.

Первый уровень – это предприятие, в заводоуправлении которого подразделения вырабатывают плановые задания второму уровню – производственным цехам. На сегодняшний день глубина планирования не превышает месяца, а производственные задания второму уровню – цехам – имеют период квантования, равный 1 сутки.

Основной расчёт плановых заданий осуществляется в планово-производственном отделе заводоуправления и подчиняется, как правило, критерию оптимальности:

$$J_1^1 \rightarrow \max, \quad (1)$$

т. е. получению максимального дохода от реализации заказов, сформированных в портфеле заказов.

Решением этой задачи (1) является вектор (матрица), характеризующий «что» – вид заказанной продукции, «где» – в каком цехе и «когда» – в какие сутки должно быть произведено.

Кроме этого, в решение задачи (1) входят показатели сырья и комплектующих, необходимых для выполнения заказов. Формально решение может быть представлено в виде:

$$Y_1^1 = \{Z^j, G^j, C^j, S_2^j, T_2^j, SR_2^j, SG_2^j, C_2^j\}, \quad (2)$$

где Z^j – заказы портфеля;
 G^j – количество заказанной продукции;
 C^j – стоимость заказа;
 S_2^j – цех, производящий эту продукцию;
 T_2^j – сутки, в которые произведут продукцию;
 SR_2^j – вид сырья, необходимого для производства продукции;
 SG_2^j – количество сырья;
 C_2^j – стоимость сырья.

Переменная Z содержит название продукции NZ^j или номера, под которыми эта продукция указана в портфеле.

Согласно предлагаемой методики осуществляется проверка эквивалентности позиций, указанных в портфеле заказов, и позиций, приведённых в решении плановой задачи (1). Эквивалентность множеств подразумевается в семантическом и нумерологических смыслах. Эквивалентность в семантическом смысле подразумевает отображение названий продукции портфеля заказов и позиций планового решения (2), т. е. устанавливается эквивалентность вида:

$$Z_p^j \equiv Z^j, \quad (3)$$

где Z_p^j – множество названий продукции в портфеле заказов.

Если множества не эквивалентны, из (3) выделяется неэквивалентное подмножество $Z_{н.э.}^j$. Это может означать, что данные позиции не включены в план, может быть ошибочно, или заказаны виды продукции, которые предприятия могли бы производить. Это является основанием для выдачи заданий техническому отделу предприятия на разработку технических условий выпуска такой продукции.

Аналогично осуществляется проверка эквивалентности множеств (3) в нумерологическом смысле, при условии кодировки позиций портфеля заказов.

В последующем осуществляется отображение множеств:

$$G_p^j \equiv G^j, \quad (4)$$

характеризующих соотношения количества заказанного продукта и включённого в плановый портфель. Оценка эквивалентности осуществляется в количественном смысле.

Если множества (4) неэквивалентны, то это означает, что выделенное неэквивалентное подмножество $G_{н.э.}^j$ показывает несовпадение

количества продукции в портфеле заказов G_p^j с запланированным выпуском G^j .

Возможны варианты, когда сырьё проходит стадии преобразования в полупродукты, выпускаемые последовательной группой цехов предприятия. Когда последний цех выпускает готовую продукцию, тогда необходимо в плановом задании производства учитывать виды полупродуктов PSR_2^j и сроки выпуска определённого в плане PT_2^j полупродукта.

В этом случае возможно формирование множеств, характеризующих эти показатели $PSR_1 = \bigcup_j PSR_2^j$ и $PT_1 = \bigcup_j PT_2^j$.

Аналогично формируются множества, характеризующие количество полупродуктов PSG_2^j в виде $PSG_1 = \bigcup_j PSG_2^j$.

Отображение этих множеств друг на друга позволяет выделить неэквивалентные подмножества, как в семантическом (по названиям), так и в количественном смысле. Сопоставление множеств PSR_2^j и PSR_1 позволяет по полученным неэквивалентным подмножествам определить, что эти полупродукты не входят в плановые задания производства.

Неэквивалентные множества сроков поставки, полученные при отображении множеств PT_1 и PT_2^j , позволяют оценить нарушения в сроках поставки полупродуктов между цехами, а сопоставления множеств PSR_1 и PSR_2^j через неэквивалентные отображения покажут несоответствие количественных характеристик полупродуктов.

Т. о., для последовательной группы цехов, выпускающих полупродукты, необходимо отображать множества, выделяя неэквивалентные составляющие:

$$PSR_1 \equiv PSR_2^j, \quad (5)$$

$$PT_1 = PT_2^j, \quad (6)$$

$$PSG_1 \equiv PSG_2^j, \quad (7)$$

$$PSR_2^j = PSR_2^{j+1}, \quad (8)$$

$$PT_2^j = PT_2^{j+1}, \quad (9)$$

$$PSG_2^j = PSG_2^{j+1}. \quad (10)$$

Для каждой из последовательной группы цехов J_2 целесообразно построить отображение (8)–(10), а для цехов, выпускающих готовую продукцию, отображения (5)–(7).

Неэквивалентные множества, полученные при этих отображениях, характеризуют нарушение графика движения полупродуктов (8)–(10) и нарушения графиков поставок (5)–(7).

Аналогично проводится отображение множества показателей каждого цеха S_2^j с

оценкой эквивалентности по видам и количеству произведённой этим цехом продукции.

Согласно специфике производственного назначения цеха по выпуску продукции, из отображения на цеховые показатели выделяется эквивалентное подмножество Z_2^{ij} , характеризующее эту ситуацию, а при количественном отображении – подмножество G_2^{ij} , характеризующее количество продукции, запланированное к выпуску этим цехом. По результатам этих отображений формируются множества:

$$Z_1^* = \bigcup_i \bigcup_j Z_2^{ij}, \quad (11)$$

$$G_1^* = \bigcup_i \bigcup_j G_2^{ij}. \quad (12)$$

Множество (11) и множество (12) отображаются на соответствующие показатели портфеля Z^j и G^j . По результатам оценки эквивалентности этих множеств осуществляется вывод о полноте учёта заказанной продукции в решении задачи планирования (2).

Проверка заказываемого для производства сырья также может осуществляться через отображение характеристик сырьевого продукта $SR_{2Г}^j$, определённых ГОСТом или ТУ на производимый продукт и сопутствующие сырьевые материалы.

Эквивалентность в семантическом смысле позволяет выделить нарушение в виде неэквивалентного подмножества – $SR_{2н.э.}^j$:

$$SR_2^j \equiv SR_{2Г}^j. \quad (13)$$

Количество заказываемого сырья подчинено нормативам на производство из него готовой продукции. Проверка эквивалентности в количественном смысле:

$$SG_2^j \equiv SG_{2Н}^j \quad (14)$$

позволяет выделить неэквивалентное подмножество $SG_{2н.э.}^j$, которое характеризует повышение стоимости закупки сырья и себестоимости продукции $ПЦ_2^j$:

$$ПЦ_2^j = \bigcup_i \bigcup_j S_{2н.э.}^{ij} \cdot Ц_2^{ij}. \quad (15)$$

Плановое задание (2) как решение задачи планирования производственной программы поступает в экономико-финансовую службу, где по задаче:

$$J_1^2 \rightarrow \max, \quad (16)$$

J_1^2 задаются оптимальные условия для определения финансовых возможностей реализации планового задания.

В этом случае отображаются через количественную эквивалентность (17) соотношения доходов от реализации портфельных позиций и расходов, связанных с закупкой сырья и комплектующих:

$$\bigcup_i \bigcup_j G_1^{ij} \cdot U^{ij} \equiv \bigcup_i \bigcup_j SG_1^{ij} \cdot US_1^{ij}. \quad (17)$$

При этом отображении может быть неэквивалентное подмножество, которое свидетельствует о дефиците оборотных средств, в следствие чего возникает потребность в краткосрочном кредитовании производственной программы.

На первом уровне могут решаться такие задачи:

$$J_1^3 \rightarrow \min \quad (18)$$

по определению оптимальной себестоимости (затратного механизма) предприятия.

В этом случае отображаются множества количественных оценок сырья, энергозатраты и их нормативные или статистические показатели.

Может иметь место задача определения оптимального портфеля заказов на сырьевые материалы:

$$J_1^4 \rightarrow \min. \quad (19)$$

В этой задаче сопоставляются множества договорных цен на поставку сырья и множества рыночных цен на эти же материалы.

Эквивалентность множеств определяется из сопоставления множеств видов сырья, цен на сырьевые материалы и множества сырья:

$$SR_2^j \equiv VSR_2^j, \quad (20)$$

$$U_2^j \equiv VU_2^j, \quad (21)$$

$$SG_2^j \equiv VSG_2^j. \quad (22)$$

Процедура предусматривает определение эквивалентности в семантическом (по наименованию) и количественном смысле (объём, цена).

Неэквивалентные подмножества, выделенные при этом отображении, означают, что службы снабжения должны пересмотреть существующие договора на поставку сырья, меняя условия оплаты либо поставщиков.

Как отдельная задача может рассматриваться управление оборачиваемостью средств:

$$J_1^5 \rightarrow \min. \quad (23)$$

В этой задаче оцениваются сроки движения средств, вкладываемых в закупку сырья и превращение сырья в реализованную продукцию.

Для оценки окупаемости осуществляется отображение множеств объёмов, видов, стоимости сырья, а также множеств сроков поставки сырья, изготовления готовой продукции по объёмам, срокам и стоимости:

$$SR_2^j \equiv FSR_2^j, \quad (24)$$

$$SG_2^j \equiv FSG_2^j, \quad (25)$$

$$(U_2^j \cdot SG_2^j) \equiv (FU_2^j \cdot S_2^j), \quad (26)$$

$$T_2^j \equiv FT_2^j, \quad (27)$$

$$G_2^j \equiv FG_2^j, \quad (28)$$

$$(U_j \cdot G_2^j) \equiv (U_j \cdot FG_2^j), \quad (29)$$

$$GT_2^j \equiv FGT_2^j, \quad (30)$$

$$FT_2^j \equiv FIT_2^j, \quad (31)$$

$$(FU_2^j \cdot S_2^j) \equiv (U_j \cdot G_2^j) \equiv (U_j \cdot FG_2^j). \quad (32)$$

В этом случае имеют место отображения множества и оценка их эквивалентности по семантическим признакам (названия), сроки, объёмы и стоимости по закупке сырья и реализованной продукции.

При этих отображениях появление неэквивалентных подмножеств означает, что необходимо управлять практикой закупок объёмов сырья, меняя интервалы закупок, соизмеримых с временем технологических циклов изготовления продукции с полным использованием объёма закупки сырья.

Частным случаем практических задач, реализуемых в многоуровневой системе, является задача технического обеспечения производства. Задача вида:

$$J_1^6 \rightarrow \max \quad (33)$$

рассматривается как управление производительностью оборудования за счёт изменения технических условий и модернизации оборудования.

В этой задаче отображаются множества, содержащие фактические значения показателей с характеристиками более современных образцов оборудования. В эту же систему поступают запросы от системы (1) по разработке технических условий на новые виды продукции.

Немаловажную роль в управлении производственной программой предприятия играют задачи, решаемые отделами главного инженера, касающиеся технического обеспечения производства:

$$J_1^7 \rightarrow \min, \quad (34)$$

решением которых является уменьшение затрат на ремонты и ремонтное обслуживание оборудования.

В этой задаче отображаются множества в семантическом, количественном и логическом смыслах.

Согласно постановке задачи формируются множества, определяющие, в каких цехах будут проводиться работы по ремонту оборудования $RS_1 = \bigcup_j RS_2^j$, а также множества, характеризующие сроки проведения ремонтов $RT_1 = \bigcup_j RT_2^j$. Множества, показывающие стоимости ремонтных работ: $CR_1 = \bigcup_j CR_2^j$.

Согласно (35)–(37) перечисленные множества отображаются на множество плановых показателей работы цехов $S_1 = \bigcup_j S_2^j$, а также на сроки выполнения плановых заданий $T_1 = \bigcup_j T_2^j$. Множества, характеризующие стоимость ремонтных работ, осуществляемых строительными организациями, $CTR_1 = \bigcup_j CTR_2^j$.

$$RS_1 \equiv S_1 \quad (35)$$

$$RT_1 \equiv T_1 \quad (36)$$

$$CR_1 \equiv CTR_1 \quad (37)$$

Последовательное определение неэквивалентных подмножеств позволяет оценить стоимость работ, выполняемых сторонними организациями.

Кроме того, отображение сроков ремонтных работ и выделение неэквивалентных множеств определяет необходимость корректировки плановых заданий (1).

На втором уровне решается задача планирования работ подразделениями цеха (переделами) с периодом квантования – смена (бригада). Задача:

$$J_2^1 \rightarrow \min \quad (38)$$

подчинена минимизации простоев оборудования и выполнению заданий, полученных цехом.

При решении задачи J_2^1 формируются множества, характеризующие простои в последовательной группе цехов. Выделяются производственные простои $IPS_1 = \bigcup_j IPS_2^j$ и непроизводственные $NIPS_1 = \bigcup_j NIPS_2^j$, а также показатели времени (суток) простоев, соответственно $PT_1 = \bigcup_j PT_2^j$ и $NPT_1 = \bigcup_j NPT_2^j$.

Отсюда следует, что $CPS_1 = IPS_1 + NIPS_1$ и $CT_1 = PT_1 + NPT_1$.

Эквивалентность отображений этих множеств задана формулами:

$$S_1 \equiv CIPS_1, \quad (39)$$

$$T_1 \equiv CT_1, \quad (40)$$

$$PSR_1 \equiv PSR(PT_1). \quad (41)$$

В этом случае осуществляется последовательность отображений семантического (по названиям операций), количественного (по объёму полупродуктов, обрабатываемых сменой), а также логического (определяющего порядок следования полупродуктов по переделам – на третьем уровне).

Выявленные при отображении множеств этих показателей неэквивалентные множества позволяют оценить невозможность выполнения плановых заданий, полученных в результате решения задачи (1). Это определяет необходимость корректировки плановых заданий на сутки.

Аналогично определяется отображение множеств в задаче третьего уровня:

$$J_3 \rightarrow \min, \quad (42)$$

в результате которого определяется корректность плана по смене, выработанного в решениях задачи J_2 – второго уровня.

Для задачи третьего уровня J_3 значения производственных показателей квантуются с интервалом смена (бригада) в час STC_3^j . Эти показатели отображаются на плановые производственные показатели выпускаемых полупродуктов PSR_3^j , т. е. сопоставляется множество, состоящее из почасовых показателей:

$$PSR_3 \equiv PSR_3(STC_3^j), \quad (43)$$

$$STC_2 \equiv STC_3. \quad (44)$$

В задачах четвёртого (участок) и пятого (технологический агрегат) уровней большую долю занимают задачи технологического характера, специфические для каждого предприятия.

В этом случае отображаются множества технологических характеристик.

Полученные при этом отображении неэквивалентные множества позволяют оценить отклонения этих характеристик от нормированных плановых режимов работы оборудования.

В практической деятельности предприятия плановые задания поступают от первого до пятого уровней управления, а отчёт о выполнении этих заданий – от пятого уровня до первого.

При этом, в каждой задаче J_1 – J_5 необходимо проводить отображение показателей «план-факт».

Эквивалентность множеств на всех уровнях целесообразно определять в интервалах квантования сутки по всем уровням в последовательной группе цехов:

$$1 \text{ уровень} - \begin{cases} G_1 \equiv G_1 F, \\ S_1 \equiv S_1 F, \\ T_1 \equiv T_1 F. \end{cases} \quad (45)$$

$$2 \text{ уровень} - \begin{cases} PSR_2^j \equiv PSRF_2^j, \\ PT_2^j \equiv PTF_2^j, \\ PSG_1^j \equiv PSGF_1^j. \end{cases} \quad (46)$$

$$3 \text{ уровень} - \begin{cases} PSR_3^j \equiv PSRF_3^j, \\ PT_3^j \equiv PTF_3^j, \\ PSG_2^j \equiv PSGF_2^j, \\ PSG_3^j \equiv PSGF_3^j. \end{cases} \quad (47)$$

$$4 \text{ уровень} - \begin{cases} PSR_4^j \equiv PSRF_4^j, \\ PT_4^j \equiv PTF_4^j, \\ PSG_3^j \equiv PSGF_3^j, \\ PSG_4^j \equiv PSGF_4^j. \end{cases} \quad (48)$$

$$5 \text{ уровень} - \begin{cases} PSR_5^j \equiv PSRF_5^j, \\ PT_5^j \equiv PTF_5^j, \\ PSG_4^j \equiv PSGF_4^j, \\ PSG_5^j \equiv PSGF_5^j. \end{cases} \quad (49)$$

В этом случае отображения могут осуществляться в количественном, семантическом и логическом смыслах.

Неэквивалентные множества, характеризующие «невязку» «план-факт», выполняют роль начальных условий при определении начальных условий в задаче оперативного управления этих уровней.

В зависимости от характера производства, учёт выполнения плановых заданий может осуществляться с интервалом квантования час. На предприятиях с непрерывным характером производства этот учёт может осуществляться в течении всего производственного цикла.

В этом случае необходимо осуществлять отображение множеств, характеризующих темп производства:

$$PT(T)_4^j \equiv PT(T)F_4^j, \quad (50)$$

$$PT(T)_5^j \equiv PT(T)F_5^j, \quad (51)$$

$$PSG(T)_4^j \equiv PSG(T)F_4^j, \quad (52)$$

$$PSG(T)_5^j \equiv PSG(T)F_5^j. \quad (53)$$

При этом следует учесть, что установленное в производственном потоке измерительное оборудование формирует

множества непрерывно с интервалом квантования, соизмеримым со скоростью измерений. Отображение этих множеств и выделение неэквивалентных подмножеств сокращает объём и время определения значений следующих режимов, т. е. выступают в качестве составной части алгоритмов управления. Это характерно для металлургических, химических и теплоэнергетических процессов.

Так, в металлургических печах (электропечь, конвертер) измеряемые с помощью специальной фурмы или электронной бомбы содержание веществ и температура формируют множества, которые возможно отображать на аналогичные множества технических условий, протекающих на агрегате процессов. Выделенные при этом неэквивалентные подмножества выступают в качестве начальных условий поиска оптимальных режимов управления в течении всего производственного цикла.

Следует отметить, что существенную роль отображений множеств может иметь при контроле качества производимой продукции на любом производстве. Службы контроля на производствах сопоставляют характеристики продукции, производимой на этих производствах, с требованиями ГОСТ и ТУ.

Формирование множеств фактических показателей продукции и требуемых ГОСТ могут отображаться через множества в семантическом (по наименованию, а также по соответствующему ГОСТ), нумерологическом (номер издания или партии), количественном (значения характеристик) и логическом признаках.

Выделение неэквивалентных подмножеств служит исходным материалом для системы управления качеством продукции.

Выводы

Научная новизна. Полученные при отображениях неэквивалентные множества составляют основу начальных значений решения задач оперативного управления деятельностью предприятий.

Практическая значимость. Изложенный в работе материал может быть применён в качестве инструментальной системы принятия решений в многоуровневой и многокритериальной системе управления предприятием, базирующейся на активной нейросети.

Литература

1. Криводубский О. А., Чикунев П. А. Анализ современных методов построения систем поддержки принятия решений для многоуровневых предприятий // Философские

проблемы информационных технологий и киберпространства. 2014. №2. С. 20-40.

2. Криводубский О. А., Косилов С. А. Классификация переменных и расчёт показателей портфеля заказов // АСУ и приборы автоматики. 2007. № 141. С. 11-17.

3. Бахирева К. М. Применение теоретико-множественного аппарата в экономике // Тенденции развития науки и образования. 2017. № 26-1. С. 12-14.

4. Преснецова В. Ю. Особенности системы управления ВУЗом // В. Ю. Преснецова, Ю. А. Демина, Т. Г. Денисова. Информационные системы и технологии. ФГБОУ ВПО Госуниверситет – УНПК, г. Орел. 2013. № 6(80). С. 80-87.

5. Балтовский А. А., Сифоров А. И. Определение оптимальной структуры многоуровневой системы управления процессом // Актуальные вопросы права, образования и психологии. Сборник научных трудов. Могилев. 2015. С. 50-55.

6. Raggl A. A reusable iterative optimization software library to solve combinatorial problems with approximate reasoning // Andreas Raggl, Wolfgang Slany. International Journal of Approximate Reasoning. Volume 19. Issues 1–2. July–August 1998. pp. 161-191.

7. Боловинцев Ю. А. Модели и принципы оптимизации стратегического плана предприятия // Научно-практический журнал «Микроэкономика». 2015. №5. С. 72-76.

8. Чаруйская М. А. Методы повышения эффективности производства с помощью оперативного планирования и управления производством // Вестник Международного Института Менеджмента Линк. 2016. № 14(43). С. 95-101.

9. Silva C. A. Soft computing optimization methods applied to logistic processes // C. A. Silva, J. M. C. Sousa, T. Runkler, R. Palm. International Journal of Approximate Reasoning. Volume 40. Issue 3. November 2005. pp. 280-301.

10. Fernandes M. Data analysis and feature selection for predictive maintenance: A case-study in the metallurgic industry // Marta Fernandes, Alda Canito, Varynica Bolyn-Canedob, Luis Conceicao, Isabel Praca. International Journal of Information Management. Volume 46. 2019. pp. 252–262.

11. Tuptuk N. Security of smart manufacturing systems // Tuptuk N., Hailes S. Journal of Manufacturing Systems. Volume 47. 2018. pp. 93–106.

12. Lanqing Liu Research on the Management System of enterprises using Modern Logistics Supply Chain Theory // Liu Lanqing. Procedia Engineering. Volume 24. 2011. pp. 721-725

13. Шептура А. А., Соколова А. В. Разработка математической модели выпуска продукции на нижних уровнях управления производством // Искусственный Интеллект. 2012. №2. С. 62-67.

14. Натансон И. П. Теория функций вещественной переменной. - М.: Наука, 1974. - 484 с

Криводубский О. А. Метод эквивалентных отображений в алгоритмах систем управления. Разработана методика решения задач оперативного управления производственной деятельностью в многоуровневой и многокритериальной системе управления предприятием. Применение методических правил, которые приведены в данной работе, позволит сузить область поиска экстремума, что приводит к сокращению времени решения оптимизационных задач и сокращению итерационных процедур алгоритмов системы управления. Выделение неэквивалентных подмножеств служит исходным материалом для системы управления качеством продукции.

Ключевые слова: эквивалентность множеств, отображение множеств, критерии оптимальности, многоуровневые системы управления, задача планирования.

Krivodubski O. Method of equivalent mappings in control systems algorithms. The method of solving problems of a production activity operational management at the multilevel and multicriteria enterprise management system has been developed. Application of methodological rules, which are given in this work, will allow to narrow the scope of extremum search, which leads to time reduction for solving optimization tasks and reduction of control system algorithms iterative procedures. The allocation of non-equivalent subsets serves as a source material for the product quality management system.

Keywords: equivalence of sets, mapping of sets, optimality criteria, multi-level control systems, scheduling task.

Статья поступила в редакцию 02.06.2020
Рекомендована к публикации профессором Зори С. А.

Моделирование плотного транспортного потока

В. И. Зензеров, Д. В. Бельков

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

belkovdv@list.ru

Аннотация

В статье предложена модель движения в заторе на основе квантовой теории конденсированной среды. Введено понятие квазичастицы – кванта поля взаимодействия машин в потоке: машина – квант автомобильного поля – машина. Предложена модель кооперативного движения квазичастиц и машин в синхронизированном потоке. Переход от затора к плотному потоку моделируется как фазовый переход II рода по аналогии с фазовым переходом в лазере с использованием системы Лоренца. При исследовании фазовых состояний транспортного потока используется модель Нагеля – Шрекенберга, реализованная в среде Octave

Введение

Интенсивное развитие автомобильной промышленности на протяжении последних десятилетий обеспечило решение многих проблем транспортировки грузов и пассажиров. Однако рост автопарка с каждым годом требует совершенствования методов управления транспортными потоками.

Основными причинами, по которым движение по магистралям становится затруднённым, являются помехи, в роли которых выступают перекрёстки и пешеходные переходы. Нередко причиной заторов становятся дорожно-транспортные происшествия или ремонтные работы. Невысокое качество дорог влечёт за собой вынужденное снижение скорости передвижения. Т. о., из-за недостаточной пропускной способности дорог образуются долговременные заторы [1].

Заторы появляются на автодорогах в любой промышленно развитой стране. По этой причине, одна из целей исследований в области транспортных потоков заключается в том, чтобы обеспечить понимание природы появления дорожных заторов, что может быть использовано для эффективного регулирования и управления транспортными потоками, организации движения, оптимального распределения трафика транспортных систем. Это должно повысить безопасность движения.

В основе существующей парадигмы транспортного потока лежат следующие представления:

- исходное состояние транспортного потока – свободное движение машин по дороге. При таком режиме машины могут свободно двигаться с удобной скоростью и менять полосу движения;

- свободный транспортный поток абсолютно устойчив, в нем нет пробок;

- отсутствие машин на дороге также считается потоком в свободном режиме. Это предельное состояние транспортного потока с абсолютной устойчивостью;

- состояние максимальной загруженности дороги, когда машины стоят впритык друг к другу, является предельным состоянием транспортного потока. Оно обладает абсолютной устойчивостью. Между предельными состояниями поток становится неустойчивым, разрушается, в нем образуются пробки;

- важным для исследования считается переход от свободного потока к плотному потоку.

Эта парадигма имеет два существенных несоответствия теоретических допущений с эмпирически наблюдаемыми характеристиками:

- постулирование свободного потока, как «естественного» (в пределе – нулевого потока). Это представление – рудимент от тех времен, когда дорожное движение только начиналось. Реальный транспортный поток является плотным;

- изучается прямой фазовый переход от свободного транспортного потока к плотному потоку. Для реального транспортного потока характерна обратная проблема: пробка возникает легко, а рассасывается с большим трудом. Поэтому важно изучать фазовый переход от затора к свободному потоку [2].

При разработке новой парадигмы транспортного потока в работе [2] было предложено понятие «автомобильного поля». Если, начиная с какого-то расстояния, между машинами начинается взаимодействие, можно говорить о «поле», действующем на определенных расстояниях. Оно проявляется как взаимодействие между машинами в потоке. Т. о., в работе [2] предлагается следующая схема взаимодействия машин в потоке: *машина – автомобильное поле – машина*.

Целью данной статьи является моделирование плотного транспортного потока с учетом фаз затора и синхронизированного потока. Задачи: разработка модели движения в заторе, разработка модели синхронизированного потока.

Фазовые состояния транспортного потока

Одна из первых математических моделей автотранспортных потоков – модель Лайтхилла – Уизема основана на гидродинамической аналогии. В ней предполагается наличие однозначной зависимости средней скорости потока $v(\rho)$ от плотности автомобилей ρ . Это допущение позволяет ввести величину потока $q(x, t)$, равную числу машин, пересекающих данное сечение автомагистрали в точке x за единицу времени, как функцию от локальной плотности ρ . Соотношение $q = v(\rho)\rho$ играет важную роль в теории транспортных потоков, ее отображение на плоскости $\{q, \rho\}$ называется фундаментальной диаграммой [3]. Идеальная фундаментальная диаграмма и фазовые состояния в реальном транспортном потоке показаны на рис. 1 и рис. 2.

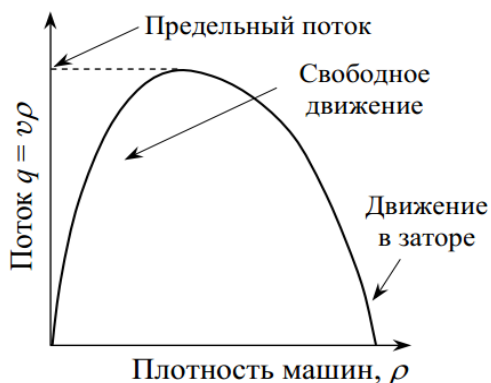


Рисунок 1 – Фундаментальная диаграмма

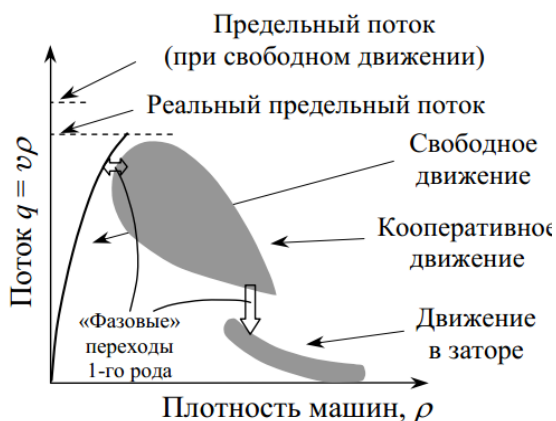


Рисунок 2 – Фазовые состояния транспортного потока

В транспортном потоке различают свободный и плотный потоки. В модели Б. С. Кернера [3] плотный поток состоит из двух фаз: синхронизированный поток и широкие перемещающиеся пробки. Т. о., различаются три фазы движения транспортного потока и его свойства объясняются с помощью фазовых переходов между перечисленными состояниями потока. Эти состояния соответствуют различным фрагментам основной диаграммы.

При свободном движении, когда дорога не загружена, водители придерживаются желаемой скорости, свободно переходя на соседние полосы. Корреляции в движении отдельных автомобилей подавлены, и средняя скорость машин определяется только средним расстоянием между ними.

Синхронизированное движение, соответствующее убывающей ветви основной диаграммы, возникает, когда водители уже не могут свободно маневрировать, и вынуждены согласовывать свою скорость со скоростью потока. Машины мешают друг другу разогнаться до оптимальной скорости, но поток не переходит в состояние затора. В таком потоке формируются большие кластеры автомобилей, которые перемещаются по автомагистрали как единое целое. Такой кластер может распространяться на все ряды магистрали и содержать десятки машин по направлению движения. В этом случае корреляции в движении отдельных автомобилей достаточно велики. С ростом плотности потока движение становится неустойчивым, и поток распадается на отдельные группы автомобилей с неравномерным движением. При уменьшении средней скорости до 20 км/ч начинается формирование заторов.

При исследовании фазовых состояний транспортного потока в данной статье используется модель Нагеля – Шрекенберга, реализованная в среде Octave [4].

Модель Нагеля – Шрекенберга

Модель Нагеля – Шрекенберга представляет собой стохастический одномерный клеточный автомат, предназначенный для моделирования дорожного движения. Применение дискретного подхода к моделированию транспортных потоков эффективно с точки зрения скорости вычислений [5]. Формулировка модели для однополосного движения заключается в следующем [6]: пусть имеется одномерная сетка, каждая ячейка которой может быть либо свободна, либо занята автомобилем. Размер ячейки принимается равным 7,5 м, что соответствует пространству, занимаемому автомобилем в неподвижном потоке (в пробке). Переменные n_i и v_i – координата и скорость i -го автомобиля соответственно; $g_i = n_{i+1} - l_i - n_i$ – дистанция до

лидирующего автомобиля; l_i – длина i -го автомобиля. В данной модели $l_i = 1$. Скорость может принимать одно из $(v_{\max} + 1)$ допустимых целочисленных значений $v_i = 0, 1, 2, \dots, v_{\max}$. На каждом временном шаге t состояние всех автомобилей в системе обновляется в соответствии со следующими правилами:

- ускорение. Если $v_i < v_{\max}$, то скорость i -го автомобиля увеличивается на единицу; если $v_i = v_{\max}$, то скорость не изменяется: $v_i(t) = \min(v_i(t-1) + 1, v_{\max})$;

- торможение. Если новая скорость равна или больше расстояния до впереди идущего автомобиля, то значение скорости приравнивается к этому расстоянию: $v_i(t) = \min(v_i(t) + 1, g_i(t-1))$;

- случайные возмущения. С заданной вероятностью p водитель уменьшает скорость: если $\zeta(t) < p$, то $v_i(t) = \max(v_i(t) - 1, 0)$;

- движение. Изменение положения автомобиля на сетке автомата в соответствии со вновь вычисленной скоростью: $n_i(t) = n_i(t-1) + v_i(t)$.

Ускорение отражает общее стремление всех водителей ехать с максимальной скоростью. Торможение гарантирует отсутствие столкновений со впереди идущими автомобилями. Элемент стохастичности, учитывающий случайности в поведении водителей и прочие вероятностные факторы, вносится случайными возмущениями. Переменная $\zeta(t)$ – это случайная величина, распределённая равномерно на интервале $(0; 1)$. Движение определяет количество ячеек для продвижения машины за одну итерацию.

Фазовые состояния плотного транспортного потока, полученные с помощью модели Нагеля – Шрекенберга, показаны на рис. 3.

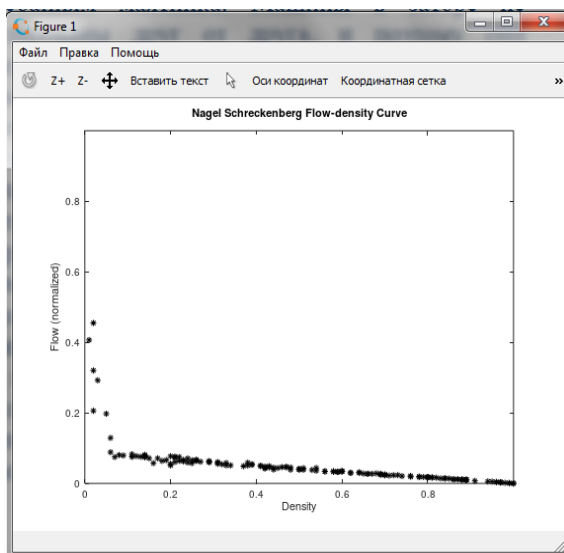


Рисунок 3 – Фазовые состояния потока

В вычислительном эксперименте использовались следующие исходные данные:

150 итераций, $v_{\max} = 160$ км/ч, вероятность $p = 0,9$, длина дороги – 100 км.

Движение в заторе

Данный раздел посвящен разработке модели движения в заторе на основе квантовой теории конденсированной среды [7]. Т.о., в отличие от работы [2], предлагается квантовая схема взаимодействия машин в потоке: *машина – квант автомобильного поля – машина*.

Рассматривается движение одинаковых по габаритам машин. Это движение отличается от свободного и синхронизированного потоков более тесным и симметричным расположением машин. Машины, составляющие затор, движутся, располагаясь в определенном порядке. При полной остановке машин их скорость равна нулю, а расстояние между ними совпадает с физическим габаритом (состояние «stop»). Это основное состояние затора: силы взаимодействия между машинами компенсируются, машины находятся в равновесии. Такому расположению машин соответствует минимум их взаимной потенциальной энергии.

При выходе из равновесия (состояние «start») машины приобретают кинетическую энергию. Эта энергия соответствует их колебательному движению около состояния равновесия. Колебания представляют собой волны сжатия и растяжения дистанции между машинами. Поскольку при движении в заторе смещения машин из равновесия достаточно малы, то потенциальную энергию потока можно разложить в ряд по степеням смещений. Линейные члены в этом разложении должны отсутствовать, т.к. в положении равновесия силы, действующие на машины, равны нулю. Если в силу малости смещений отбросить все члены разложения выше второго порядка, то будем иметь систему с потенциальной энергией, пропорциональной квадратам смещений. В такой системе машины будут совершать малые колебания около положения равновесия.

Спектр колебаний машин в заторе зависит от ширины дороги. Эта зависимость обусловлена тем, что с изменением ширины дороги изменяются силовые константы, т.е. коэффициенты при квадратах смещений в разложении потенциальной энергии потока в ряд по смещениям. Кроме того, увеличение ширины дороги при постоянной плотности может привести к увеличению роли ангармонических эффектов. Однако мы будем считать, что изменения ширины дороги приводят лишь к изменению спектра колебаний, тогда как сами колебания остаются гармоническими. В этом состоит смысл квазигармонического приближения.

Переход транспортного потока в затор является стремлением системы машин понизить свою энергию при повышении плотности. Поэтому структура потока определяется силами,

действующими между машинами. Потенциальная энергия взаимодействия машин не мала по сравнению с кинетической энергией их движения. Затор – система сильно взаимодействующих машин. Поэтому представляет интерес возможность введения *квазичастиц*, т. е. квантов автомобильного поля, и сведение задачи о системе сильно взаимодействующих машин к задаче о системе не взаимодействующих квазичастиц. Однако это возможно только в квазигармоническом приближении, когда потенциальная энергия взаимодействия машин считается квадратичной функцией их смещений из положения равновесия. В этом приближении квазичастицы движутся свободно, совершенно не взаимодействуя друг с другом.

В данной статье, согласно квантовой механике, поле взаимодействия машин рассматривается как динамическая система. Она может находиться в разных дискретных энергетических состояниях. Низшее состояние этой системы – *вакуум поля*. Оно соответствует свободному потоку, т. е. состоянию транспортного потока, где взаимодействие машин отсутствует. Возбуждение автомобильного поля происходит дискретно, путём появления отдельных квантов энергии. Эти кванты являются элементарными возбуждениями поля и называются квазичастицами. Т. о., квазичастица – это элементарное возбуждение, квант автомобильного поля. Элементарные возбуждения автомобильного поля обусловлены исключительно силами взаимодействия между машинами и отсутствуют в «идеальном газе машин» (свободном потоке).

Колебательное движение машины около положения равновесия можно считать подобным колебаниям маятника. Машины в заторе не изолированы друг от друга, и поэтому они совершают колебания не самостоятельно. Колебания сильно взаимодействующих машин можно представить как совокупность слабо взаимодействующих волн. Каждая волна согласно квантово-волновому дуализму соответствует квазичастице. В таком случае энергия сильно взаимодействующих машин равна сумме энергий слабо взаимодействующих квазичастиц и затор, т. е. систему сильно взаимодействующих машин можно рассматривать как газ квазичастиц. Однако вдали от равновесия, около точки фазового перехода от затора к синхронизированному потоку это понятие использовать некорректно.

Кооперативное движение

Данный раздел посвящен разработке модели синхронизированного потока на основе теории самоорганизации [8].

Рассматривается переход от движения в заторе к движению в синхронизированном потоке. Состояние затора является симметричным в том смысле, что в газе квазичастиц все квазичастицы движутся свободно. Нет особого, выделенного направления их движения. Это означает, что волны сжатия и растяжения дистанции между машинами являются некогерентными.

При уменьшении плотности потока может появиться возможность более быстрого движения. Машины одна за другой ускоряются и выходят из затора. Это происходит, если волны сжатия и растяжения дистанции между машинами являются когерентными. В таком случае состояние потока становится несимметричным, возникает выделенное направление движения квазичастиц.

Как показано на рис. 2, в работах [2, 3] переход от синхронизированного потока к затору является фазовым переходом I рода. Однако в данной статье переход от затора к синхронизированному потоку рассматривается как фазовый переход II рода, нарушающий симметрию системы. Симметрия появляется и исчезает скачком. При этом нарушение симметрии можно охарактеризовать величиной, которая при фазовом переходе II рода изменяется непрерывно и называется параметром порядка.

В данном случае параметром порядка является величина потока q , а управляющим параметром – величина $s = 1 - p$. При s ниже *критической точки* параметр порядка равен нулю, выше этой точки начинается его аномальный рост, приводящий к максимальному значению при значении s равном единице.

Фазовый переход от затора к синхронизированному потоку показан на рис. 4.

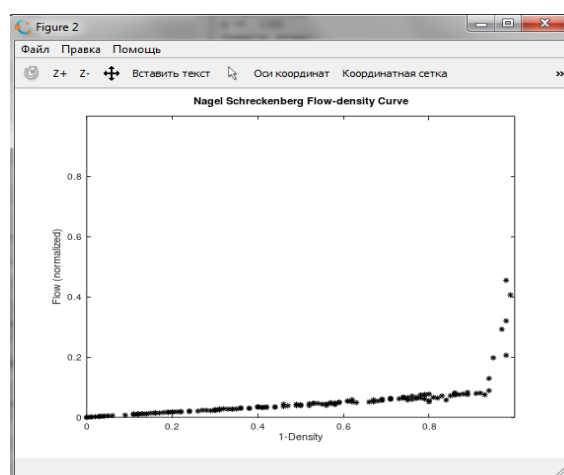


Рисунок 4 – Фазовые переходы от затора к синхронизированному и свободному потокам

В плотном потоке действуют два процесса:

– разрушение структуры синхронизированного потока вблизи положения равновесия;

– возникновение этой структуры вдали от равновесия вследствие кооперативного поведения квазичастиц;

– структура синхронизированного потока является диссипативной. Она возникает вдали от равновесия в нелинейной области;

В данной статье предлагается аналогия между возникновением синхронизированного потока и появлением когерентного лазерного излучения.

Генерация лазерного излучения является известным примером самоорганизации. Лазер – это неравновесная, открытая система, образованная возбужденными атомами и модами электромагнитного поля в резонаторе. Ее неравновесность поддерживается непрерывным притоком энергии от внешнего некогерентного источника (накачкой). При малых интенсивностях накачки излучение системы состоит из независимых между собой цугов волн. С повышением интенсивности накачки вплоть до пороговой величины излучение системы становится когерентным, т. е. представляет собой непрерывный волновой цуг, в котором фазы волн жестко коррелированы на макроскопических расстояниях от излучателя. Лазерный режим соответствует кооперативному поведению атомов и фотонов. Аналогия между возникновением синхронизированного потока и появлением когерентного лазерного излучения показана в табл. 1.

Таблица 1 – Аналогия между потоком и лазером

Параметр потока	Параметр лазера
Параметр порядка (величина потока – q)	Параметр порядка (мощность лазера)
Управляющий параметр ($s = 1 - p$)	Управляющий параметр (мощность накачки)

Система Лоренца

Известно [9, 10], что модель одномодового лазера описывается уравнениями Лоренца. В данном разделе предлагается модель плотного потока на основе аналогии между возникновением синхронизированного потока и появлением когерентного лазерного излучения.

Система Лоренца удовлетворяет следующим уравнениям:

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \sigma(y - x); \\ \dot{y} &= rx - y - xz; \\ \dot{z} &= -bz + xy.\end{aligned}$$

В лазерной интерпретации: переменная x – амплитуда волн в резонаторе лазера, y – поляризация, z – инверсия населенностей энергетических уровней, b и σ – отношения коэффициентов релаксации инверсии и поля к коэффициенту релаксации поляризации, r – интенсивность накачки.

Аналогия между плотным потоком и системой Лоренца в лазерной интерпретации показана в табл. 2.

Таблица 2 – Аналогия с системой Лоренца

Параметр потока	Параметр системы
q	x
$s = 1 - p$	r

Моделирование плотного потока на основе этой аналогии реализовано в среде Octave. Результаты показаны на рис. 5.

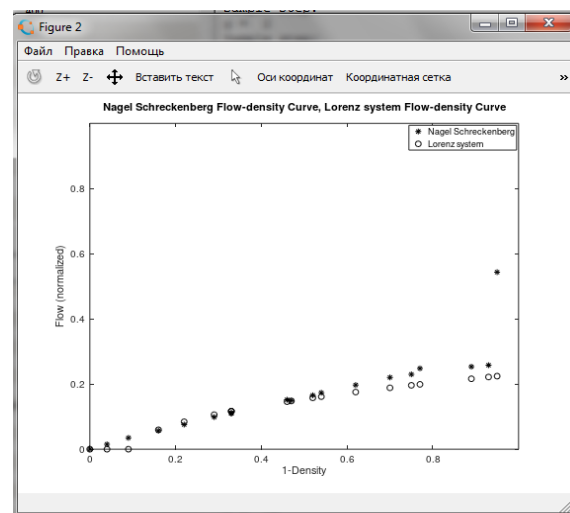


Рисунок 5 – Моделирование плотного потока

В вычислительном эксперименте использовались следующие исходные данные: 20 итераций, $v_{max} = 160$ км/ч, вероятность $p = 0,6$, длина дороги – 100 км, $x = 13q$, $r = 10s$. При $r < 1$ имеется одно устойчивое состояние, расположенное в начале координат, а при $r \geq 1$ – три устойчивых состояния:

$$\begin{aligned}x &= 0, y = 0, z = 0; \\ x &= \sqrt{r-1}, y = \sqrt{r-1}, z = \sqrt{r-1}; \\ x &= -\sqrt{r-1}, y = -\sqrt{r-1}, z = -\sqrt{r-1}.\end{aligned}$$

С точки зрения физической интерпретации, первое решение отвечает состоянию равновесия. Лазер не генерирует, транспортный поток остановлен. Второе решение соответствует состоянию, когда лазер генерирует сигнал постоянной, не зависящей от времени интенсивности, и транспортный поток

синхронизированный. Третье решение, когда лазер также генерирует когерентный сигнал, в данной работе не используется.

Выводы

В работе предложена модель движения в заторе на основе квантовой теории конденсированной среды. Введено понятие квазичастицы – кванта поля взаимодействия машин в потоке: машина – квант автомобильного поля – машина. Предложена модель кооперативного движения квазичастиц и машин в синхронизированном потоке. Переход от затора к плотному потоку моделируется как фазовый переход II рода по аналогии с фазовым переходом в лазере с использованием системы Лоренца. При исследовании фазовых состояний транспортного потока используется модель Нагеля – Шрекенберга, реализованная в среде Octave.

Литература

1. Кленов С. Л. Стохастические математические модели транспортного потока в рамках теории трех фаз. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора физико-математических наук. М.: Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, 2019. – 34 с.
2. Семенов В. В. Смена парадигмы в теории транспортных потоков. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://b-ok.org/book/3150565/7221c4>
3. Лубашевский И. А., Гусейн-Заде Н. Г., Гарнисов К. Г. Макроскопические фазовые состояния автотранспортного потока в туннелях. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://b-ok.org/book/2980831/71d08c>
4. Farley A. Nagel Schreckenberg model implementation. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/34956-nagel-schreckenberg-model-implementation>
5. Nagel K., Schreckenberg M. A cellular automaton model for freeway traffic. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://hal.archives-ouvertes.fr/jpa-00246697/document>
6. Долгушин Д. Ю., Мызникова Т. А. Применение клеточных автоматов к моделированию автотранспортных потоков. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://b-ok.org/book/3255641/dc8bb3>
7. Брандт Н. Б., Кульбачинский В. А. Квазичастицы в физике конденсированного состояния. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://en.bookfi.net/book/504370>
8. Синергетика и законы природы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://i-kiss.ru/rubrika/sinergetika>
9. Кузнецов С. П. Динамический хаос. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://b-ok.org/book/4987629/fe83ca>
10. Теория хаоса. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nplus1.ru/material/2019/09/06/chaosreigns>

Зензеров В. И., Бельков Д. В. Моделирование плотного транспортного потока. В статье предложена модель движения в заторе на основе квантовой теории конденсированной среды. Введено понятие квазичастицы – кванта поля взаимодействия машин в потоке: машина – квант автомобильного поля – машина. Предложена модель кооперативного движения квазичастиц и машин в синхронизированном потоке. Переход от затора к плотному потоку моделируется как фазовый переход II рода по аналогии с фазовым переходом в лазере с использованием системы Лоренца. При исследовании фазовых состояний транспортного потока используется модель Нагеля – Шрекенберга, реализованная в среде Octave.

Ключевые слова: затор, синхронизированный поток, плотный поток, фазовые состояния транспортного потока, фазовые переходы.

Zenzerov V., Belkov D. Modeling of congested flow. The article proposes the model of the movement stalled on the basis of quantum theory condensed environment. Introduced the concept of quasi-particles – quantum fields of interaction machines: machine – quantum of machine field – machine. The model of cooperative movement of quasi-particles and machines in a synchronized stream. The transition from deadlock to dense flow is modeled as a phase transition of II sort by analogy with phase transition in laser system using Lorentz. In the study of phase states of traffic flow using the Nagel – Shrekenberg model implemented in Octave environment.

Keywords: jam, synchronized flow, congested flow, phase states of transport stream, phase transitions.

Статья поступила в редакцию 26.03.2020
Рекомендована к публикации профессором Павлышом В. Н.

Принципы формирования математической модели процесса гидравлического воздействия на угольный пласт с учетом особенностей его структуры и управления параметрами

Л. А. Лазебная

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

L.Lazebnay@mail.ru

Аннотация

В статье рассматривается задача построения детерминированной математической модели процесса внедрения жидкости в угольный пласт для повышения влажности угля как способа снижения проявления его опасных свойств. Принцип формирования математической модели процесса состоит в том, что угольный пласт представляется как сильно сцементированная сплошная среда с трещиновато-пористой структурой и случайно распределёнными фильтрационными параметрами.

Введение

Интенсификация и концентрация горных работ, особенно по мере углубления шахт, все более ограничивается проявлениями опасных свойств угольных пластов, таких как газовыделение, пылеобразование, внезапные выбросы угля и газа, самовозгорание угля в массиве.

В комплексе методов решения задач борьбы с основными опасностями при подземной добыче угля очень важное место занимают процессы воздействия на угольные пласты, позволяющие изменить их состояние и за счет этого снизить интенсивность проявления опасных и вредных свойств.

Эффективность процессов воздействия определяется степенью снижения проявлений основных опасных и вредных свойств угольного пласта при выемке угля. Разработанные и внедренные способы воздействия на пласт дают возможность в определенной степени преодолеть негативное влияние основных опасностей и значительно повысить нагрузку на забой и улучшить условия труда. Однако эффективность применяемых средств в определенных горно-технических и горно-геологических условиях все еще недостаточна, о чем свидетельствуют данные об авариях на ряде шахт.

Предварительная обработка угольных пластов веществами, обладающими свойством текучести (жидкости, эмульсии, химические растворы, полимеры, аэрозоли, газообразные смеси и др.) в различных режимах является важным средством решения проблемы борьбы с проявлениями вредных и опасных свойств пластов при подземной угледобыче [1, 2, 3].

Одним из основных преимуществ этого способа является заблаговременное и необратимое изменение свойств угольного массива, позволяющее предупредить возникновение опасных явлений при ведении горных работ [4, 5].

Необходимым условием высокой эффективности воздействия является равномерность гидравлической обработки угольного массива.

Главной причиной неравномерности распространения жидкости при её нагнетании в пласт является анизотропия фильтрационных параметров пласта, выражающаяся в изменчивости значений коэффициента проницаемости и эффективной пористости по всем направлениям [5].

Задачами дальнейших исследований по повышению качества обработки массива следует считать установление физических предпосылок и принципиальной возможности преодоления фильтрационной анизотропии. Решение этих задач может быть получено методом математического моделирования, позволяющим установить требуемые характеристики при заданном строении пласта и распределении проницаемости, недоступном для достаточно точного определения в натурных условиях.

В этой связи установление принципов и построение математических моделей процесса, учитывающих специфику анизотропного пласта как фильтрующей среды со сложной структурой и случайно распределёнными фильтрационными параметрами, является актуальной задачей.

Целью работы является обоснование принципов построения детерминированной математической модели процесса внедрения жидкости в угольный пласт с учётом его структуры и анизотропии фильтрационных характеристик.

Основное содержание работы

Сущность гидравлического воздействия состоит в принудительном внедрении под давлением в проектную зону угольного пласта веществ, обладающих текучестью (жидкости, газы, аэрозоли, суспензии), т. е. в нагнетании

текущих в угольный пласт с целью управления его состоянием.

Угольный пласт представляет собой трещиновато-пористую среду со сложной структурой, имеющую разветвленную сеть микро- и макротрещин всевозможной величины и направленности. Движение жидкости по трещинам и порам угольного пласта представляет собой процесс фильтрации. Массив угля как объект гидравлического воздействия характеризуется способностью пропускать сквозь себя воду и газ, а также аккумулировать определенное их количество. Эти возможности характеризуются такими показателями как проницаемость и пористость. При проектировании технологических схем нагнетания жидкости в пласт необходимо провести предварительный расчет основных параметров, в частности, давления и темпа нагнетания, расхода жидкости и других. Применяемые приближенные формулы, во-первых, дают слишком далекий от практики результат, а, во-вторых, не учитывают фактор времени, т. к. основываются на уравнениях стационарного течения.

Для разработки методик расчета параметров, более адекватно отвечающих характеру процесса, необходимо построить реальную математическую модель, учитывающую нестационарный характер течения.

Будем рассматривать угольный пласт как трещиновато-пористую структуру, расположенную на большой глубине и находящуюся под нагрузкой вышележащих слоев горных пород. Будем считать, что при движении жидкости под давлением возмущения напряженного состояния имеют малую величину, а смещения твердой фазы незначительны по сравнению со скоростью потока и вмещающие породы непроницаемыми по сравнению с угольным пластом и идеально жесткими.

В [5–8] рассмотрены основные процессы, происходящие при нагнетании жидкости под давлением, и соответствующие им уравнения, в результате сформирована система уравнений, на которой основывается математическая модель процесса.

Один из путей подбора таких параметров – задание анизотропии пласта по всей области фильтрации независимо от направления осей, при этом, естественно, необходимо учесть, что коэффициент проницаемости вдоль оси Z в любом случае в несколько раз меньше проницаемости по простиранию (оси X , Y). Поскольку пласт состоит из блоков с разной проницаемостью, пересечен трещинами различного происхождения, то в нем можно выделить некоторые области с различной величиной коэффициента фильтрации, и соответствующим образом задать набор коэффициентов проницаемости [4, 5]. Ввиду того, что выделить

на практике такие области, не проникнув в пласт, невозможно, в первом приближении можно задать набор коэффициентов проницаемости хаотично, используя таблицу случайных чисел. Благодаря этому приему можно будет исследовать процесс фильтрации в условиях, более близких к реальным по сравнению со случаем, когда проницаемость усредняется по трем (двум) направлениям [7, 9].

Фактически жидкость распространяется неравномерно, она может найти путь фильтрации, по которому быстро выйдет на соседнюю скважину, оставив большие блоки неувлажненными. Обходя эти блоки, жидкость «закупоривает» имеющийся в них метан, а это может привести к образованию зон с высоким содержанием газа под давлением, и увлажнение даст нежелательный эффект в отношении внезапного выброса. Особенно это характерно при нагнетании крепителя, т. к. после затвердевания газ запирается в блоках с плохой проницаемостью.

Т. о., угольный пласт как объект воздействия представляет собой сплошную среду, характеристики которой являются случайными величинами, непосредственное определение которых физически невозможно. Данные геологической разведки дают усредненную информацию, тогда как в процессе воздействия приходится иметь дело с конкретными значениями, изменяющимися в широких пределах. Единственным способом представления пласта как объекта воздействия является математическое моделирование.

Имитация состояния угольного пласта как объекта воздействия

Существенной особенностью угольного пласта как объекта воздействия, осуществляемого для целенаправленного изменения его состояния, является то, что он «закрыт» от непосредственного наблюдения, определить характеристики пласта без вмешательства в его структуру невозможно. Фактически, в данном случае объект воздействия – это угольный массив с ненаблюдаемыми параметрами, что требует нестандартных решений при реализации управления процессом воздействия.

Вместе с тем, в процессе воздействия имеет место необходимость отслеживать результаты обработки, чтобы обеспечить направленное изменение состояния обрабатываемого массива. Реализация управления такими процессами, использующая данные о внешних воздействиях, возможна только в том случае, когда имеется модель объекта или возможность ее построения в процессе воздействия, основываясь на результатах контроля технологических параметров (давление нагнетания P и скорость его изменения dP , расход нагнетаемого вещества или темп нагнетания Q и скорость его изменения dQ) и тем явлениям,

которые можно наблюдать (в частности, пиковые всплески значений параметров, прорывы нагнетаемого вещества и т. п.).

В этой связи стоит задача разработки адекватных моделей, по которым можно оценить состояние объекта и получить информацию о результатах воздействия. В создавшихся условиях принят следующий подход. Для исследования и контроля процесса обработки используются две модели:

- исходная модель горного массива с заложенными в нее характеристиками, полученными из геологических данных;

- прогнозная модель, отражающая ожидаемое состояние на текущий момент, исходя из информации о результатах воздействия в реальном времени.

Такой подход позволяет уйти от процедуры идентификации параметров объекта воздействия (коэффициент фильтрации, эффективная пористость, коэффициент анизотропии и др.).

Исходная модель закладывается в базу данных (БД) системы управления процессом и после первого цикла воздействия одновременно с выполнением последующих циклов осуществляется контроль технологических параметров (P , dP , Q , dQ) и по его результатам корректируется локальное распределение значений характеристик. Это дает возможность выявления и предупреждения возможных пиковых выбросов и прорывов (по направлению и величине изменения параметров), определяемых анизотропией угольного пласта.

Т. о., разработка математических моделей процесса является одной из ключевых задач.

Прогноз изменения параметров процесса с целью своевременной подготовки реакции системы управления процессом

Резкие колебания значений параметров процесса, вызванные характером изменения физических свойств и структуры угольного пласта, оказывают отрицательное влияние на качество обработки пласта жидкостями и эффективность процесса гидровоздействия как средства борьбы с проявлениями опасных и вредных свойств угольных массивов, и первой задачей системы управления процессом является стабилизация технологических параметров.

Вместе с тем, отмечается и другой аспект проблемы, заключающийся в том, что выходные каналы насосов, подающих жидкость в скважины, непосредственно гидравлически связаны с входными каналами работающих скважин, при этом режим работы насосов во многом зависит от размаха колебаний давления на скважине и, соответственно, темпа нагнетания. В этой связи возникает опасность гидроудара, когда поток

фильтрующейся жидкости встречается с водоупором, определяемым резким снижением проницаемости, и этот феномен сопровождается катастрофическим ростом локального давления, которое передается к устью скважины и выхлопу насоса. Такого рода явления приводят к повышенному износу оборудования, следовательно, в системе управления процессом этот аспект должен быть предусмотрен и скомпенсирован.

Поскольку фактические значения проницаемости пласта в каждый конкретный момент определены быть не могут, ставится задача прогноза изменения фильтрационных характеристик на основании математической модели, учитывающей стохастический характер изменения проницаемости.

Физика процесса такова, что в массиве происходят фазовые переходы, которые свидетельствуют об изменениях в структуре обрабатываемой зоны пласта. Одним из ключевых показателей, отражающих резкие изменения структуры на коротких промежутках пространства и времени, является наличие пиковых всплесков значений параметров воздействия, по величине и длительности которых формируется оценка состояния, используемая в прогнозной модели, а также для коррекции параметров базовой (исходной) модели.

Отмечаемые пиковые всплески, не будучи своевременно учтены и скомпенсированы, могут вызвать ряд негативных последствий:

- гидроудары в гидропневматической системе с возможным выходом из строя технологического оборудования;

- затраты на восстановление работоспособности системы и возможно необходимый ремонт оборудования;

- снижение эффективности воздействия на угольный пласт;

- дополнительные затраты энергии и материальных ресурсов.

Данные, полученные по прогнозной модели, закладываются в исходную модель, которая корректируется в режиме реального времени и является базовой для расчета заданий на параметры управляющей системы, предназначенные для осуществления последующих циклов воздействия. Скорректированные данные записываются в базу данных и могут быть впоследствии использованы при управлении обработкой последующих участков пласта.

Для осуществления прогноза предлагается в каждом цикле опроса датчиков вводить информацию о распределении проницаемости в трех точках сеточной модели, реализующей решение уравнений методом конечных разностей, по каждому из направлений от расчетного узла сетки.

Фактически, на каждом шаге моделирования, находясь в узле (x_i, y_j) , необходимо анализировать

проницаемость в тридцати шести узлах ($i, j = -3, -2, -1, 1, 2, 3$). Учитывая данные прогноза, можно своевременно скорректировать величину темпа нагнетания, не дожидаясь, когда скачок давления будет отмечен на скважине.

Следует отметить, что по результатам воздействия может быть фактически определена структура обрабатываемого пласта, однако эта картина формируется уже после реализации процесса, т. е. когда объект воздействия фактически разрушен.

Это лишний раз говорит о том, что управление подобным процессом возможно исключительно с применением математических моделей, которые закладываются в структуру САУ. В процессе функционирования они корректируются и могут быть использованы в режиме обучающих при построении соответствующих алгоритмов обучения и настройки систем управления воздействия на новые объекты.

Т. о., математическое моделирование является базовым атрибутом системы автоматического управления, рассматриваемым сложным динамическим процессом.

При построении системы управления процессом важной составляющей является блок математического обеспечения, предназначенный для имитации состояния и оперативного определения текущих результатов обработки.

Моделирование гидравлического воздействия с использованием численных методов представляет собой расчет изменения во времени поля давлений нагнетаемой жидкости в заданной области и определение на его основе распределения жидкости в массиве.

Процесс напорного движения жидкости в трещиноватой среде, какой является угольный пласт, описывается дифференциальным уравнением фильтрации, конкретная область воздействия и технологическая схема задаются в виде исходных данных, начальных и граничных условий.

Алгоритмы и программы, осуществляющие реализацию представленной ниже модели, являются открытыми, т. е. могут быть дополнены практически любыми условиями и исходными данными.

Детерминированная математическая модель и постановка краевой задачи моделирования процесса

Процесс фильтрации жидкости в угольном пласте описывается нелинейным дифференциальным уравнением параболического типа:

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \operatorname{div}(\lambda(P) \operatorname{grad} P), \quad (1)$$

при

$$\lambda(P) = \begin{cases} \frac{k}{\mu n_0} P & \text{– на контуре потока жидкости;} \\ \chi = \frac{k}{\mu} E_y & \text{– в заполненной области;} \end{cases}$$

где P – давление фильтрующейся жидкости;
 χ – коэффициент пьезопроводности;
 E_y – модуль упругости вещества угля.

В качестве начального условия принимается равенство нулю давления жидкости в каждой точке:

$$P(x, y, z, 0) = 0. \quad (2)$$

В зависимости от вида рассматриваемой области, схемы расположения скважин и режима их работы могут использоваться следующие типы граничных условий.

На нагнетательной скважине задано давление нагнетания:

$$P(\Gamma_c, t) = P_H(t), \quad (3)$$

где Γ_c – координаты скважины, в частном случае $P_H(t) = \operatorname{const}$;

задан темп нагнетания:

$$q(t) = \frac{k}{\mu} S_c \frac{\partial P(\Gamma_c, t)}{\partial n}, \quad (4)$$

где S_c – площадь поверхности фильтрующей части скважины, в частном случае $q(t) = \operatorname{const}$;

задано соотношение между давлением и темпом нагнетания (нагрузочная характеристика насосов с пневмодвигателем):

$$P(\Gamma_c, t) = f(q(t)), \quad (5)$$

где $f(x)$ – функция, которая определяет конкретную характеристику.

На отточной скважине или оконтуривающих выработках:

$$P(\Gamma_1, t) = 0, \quad (6)$$

где Γ_1 – координаты отточной скважины или выработки.

На контакте с непроницаемыми боковыми породами:

$$\frac{\partial P(\Gamma_2, t)}{\partial n} = 0, \quad (7)$$

где Γ_2 – координаты поверхности контакта.

Если линия скважины является границей расчетной области, то на всем ее протяжении, за

исключением фильтрующей части, также ставится условие (7).

На остальных границах задается условие постоянства потока:

$$\frac{\partial P(\Gamma, t)}{\partial n} = \text{const.} \quad (8)$$

Для решения краевой задачи (1)–(7) применяется конечно-разностный метод, основы которого для нелинейных параболических уравнений с разрывными коэффициентами разработаны А. А. Самарским [10].

Для реализации модели необходимо задать параметры (коэффициенты уравнения). Один из путей подбора таких параметров – задание анизотропии пласта по всей области фильтрации независимо от направления осей, при этом, естественно, необходимо учесть, что коэффициент проницаемости вдоль оси Z в любом случае в несколько раз меньше проницаемости по простиранию (оси X , Y). Поскольку пласт состоит из блоков с разной проницаемостью, пересечен трещинами различного происхождения, то в нем можно выделить некоторые области с различной величиной коэффициента фильтрации, и соответствующим образом задать набор коэффициентов проницаемости. Ввиду того, что выделить на практике такие области, не проникнув в пласт, невозможно, в первом приближении можно задать набор коэффициентов проницаемости хаотично, используя таблицу случайных чисел. Благодаря этому приему можно будет исследовать процесс фильтрации в условиях, более близких к реальным по сравнению со случаем, когда проницаемость усредняется по трем (двум) направлениям.

При этом жидкость может найти путь фильтрации, по которому быстро выйдет на соседнюю скважину, оставив большие блоки неувлеченными. Обходя эти блоки, жидкость «закупоривает» имеющийся в них метан, а это может привести к образованию зон с высоким содержанием газа под давлением, и увлажнение даст нежелательный эффект в отношении внезапного выброса. Особенно это характерно при нагнетании крепителя (раствора, изменяющего свое фазовое состояние), т. к. после затвердевания газ запирается в блоках со слабой проницаемостью. Пути преодоления этого явления возможно найти в результате применения математического моделирования на основе использования детерминированной модели. Следовательно, стоит задача выбора схем и параметров воздействия, обеспечивающих повышение качества обработки, несмотря на столь неблагоприятную структуру пласта. Иными словами, необходимо так усовершенствовать технологию, чтобы схема обработки позволяла компенсировать

неблагоприятные особенности строения угольного пласта. Одним из возможных путей в этом направлении является способ гидравлического воздействия через каскад скважин [7, 9].

Каскадным способом гидрообработки называется нагнетание жидкого вещества одновременно через группу скважин в таком режиме, при котором обеспечивается взаимодействие встречных потоков жидкости от соседних скважин [4, 7, 9]. Физическая сущность каскадной обработки состоит в преодолении фильтрационной анизотропии пласта за счет взаимодействия встречных потоков рабочей жидкости от соседних одновременно работающих скважин и достижении за счет этого равномерного распределения жидкости в обрабатываемой зоне [9]. Физической основой каскадного способа нагнетания жидкости в угольный пласт является создание на границах слабопроницаемых областей высокого давления жидкости, близкого по величине к давлению на скважинах.

Проверка этого предположения и установление возможности насыщения участков с низкой проницаемостью при каскадной обработке могут быть осуществлены только с помощью моделирования в силу невозможности проведения необходимых наблюдений в глубине массива. Применение способа каскадной обработки не требует изменений оборудования, не влияет на технологию очистных работ, но при этом позволяет на много повысить качество обработки пласта текучим и тем самым повысить эффективность воздействия. Поскольку достоверно установить проницаемость пласта в каждой точке не представляется возможным, коэффициент проницаемости в модели может быть задан как случайная величина [9], изменяющаяся в определенных пределах и постоянная на некоторой площади. Разброс значений коэффициента проницаемости, как отмечалось выше, может достигать двух-трех порядков величин. Выбор критериев оценки эффективности каскадного способа по сравнению с одиночными скважинами производится в соответствии с поставленной целью: повышение равномерности гидравлической обработки пласта.

Выводы

В результате выполненных исследований обоснованы принципы построения детерминированной математической модели процесса гидравлической обработки угольного пласта, основанные на представлении пласта как сплошной среды со случайно распределёнными свойствами. Разработанные на основе данного принципа математические модели дают возможность сформировать базу данных системы управления процессом, а также определить пути преодоления отрицательного влияния структуры пласта на качество воздействия.

Литература

1. Мельник В. В., Павлыш В. Н. Прогрессивные технологические решения по комплексному освоению ресурсного потенциала угольных месторождений [монография] / В. В. Мельник, В. Н. Павлыш. - Донецк : ВИК, 2015. – 340 с.
2. Павлыш В. Н., Лазебная Л. А. Автоматизированное управление процессом нагнетания жидкости в угольный пласт / В. Н. Павлыш, Л. А. Лазебная // Вісті Донецького гірничого інституту. – 2003. – № 2. – С. 84-88.
3. Мельник В. В., Гребенкин С. С., Павлыш В. Н. Основные направления повышения технологического уровня и экологичности горного производства при подземной добыче угля с закладкой выработанных пространств шахт [монография] / В. В. Мельник, С. С. Гребенкин, В. Н. Павлыш. - Донецк : ВИК, 2015. – 273 с.
4. Павлыш В. Н., Гребенкин С. С. Физико-технические основы процессов гидравлического воздействия на угольные пласты [монография] / В. Н. Павлыш, С. С. Гребенкин. – Донецк : ВИК, 2006. – 269 с.
5. Павлыш В. Н., Штерн Ю. М. Основы теории и параметры технологии процессов гидропневматического воздействия на угольные пласты [монография] / В. Н. Павлыш, Ю. М. Штерн. – Донецк : ВИК, 2007. – 400 с.
6. Grebyonkin S., Pavlysh V., Grebyonkina O. Application of mathematical simulation method for solving the task focused on efficiency increase of hydraulic influence process on coal seam: Technical and Geoinformational Systems in Mining / Proceedings of the school of underground mining, Dnipropetrovsk / Yalta, Ukraine, 2-8 October, 2011. – CRC Press / Balkema, Leiden, The Netherlands, 2011. – P. 313-317.
7. Лазебная Л. А. Применение математического моделирования для решения задачи повышения эффективности управления состоянием угольного пласта // Информатика и кибернетика. - № 1 (15). – Донецк : ДонНТУ, 2019. - С. 36-41.
8. Павлыш В. Н., Лазебная Л. А. Математические модели и алгоритмы управления процессами динамического воздействия на анизотропные подземные массивы // Проблемы искусственного интеллекта. – 2019. - № 2 (13). – С. 4-13.
9. Павлыш В. Н. Математическое моделирование и расчет параметров технологических схем гидродинамического воздействия на угольный пласт // Материалы международной конференции «III школа геомеханики». – Гливице-Устронь, Польша, 1998. – ч. II. – С. 109-118.
10. Самарский А. А. Теория разностных схем. – М. : Наука, 1977. – 656 с.

Лазебная Л. А. Принципы формирования математической модели процесса гидравлического воздействия на угольный пласт с учетом особенностей его структуры и управления параметрами. В статье рассматривается задача построения детерминированной математической модели процесса внедрения жидкости в угольный пласт для повышения влажности угля как способа снижения проявления его опасных свойств. Принцип формирования математической модели процесса состоит в том, что угольный пласт представляется как сильно сцементированная сплошная среда с трещиновато-пористой структурой и случайно распределёнными фильтрационными параметрами.

Ключевые слова: математическая модель, процесс, уравнение, параметр, структура.

Lazebnaya L. The principles of the formation of a mathematical model of the process of hydraulic impact on a coal seam, taking into account the features of its structure and parameter management. The article considers the task of constructing a deterministic mathematical model of the process of introducing liquid into a coal seam to increase the moisture content of coal as a way to reduce the manifestation of its dangerous properties is considered. The principle of forming a mathematical model of the process is that the coal seam appears as a highly cemented continuous medium with a fractured-porous structure and randomly distributed filtration parameters.

Keywords: mathematical model, process, equation, parameter, structure.

Статья поступила в редакцию 12.05.2020
Рекомендована к публикации профессором Миненко А. С.

Компьютерные науки

О частичных бесконечноарных группоидах, у которых каждое отношение эквивалентности является конгруэнцией

А. В. Решетников

НИУ «Московский институт электронной техники»; Центр ФПМ МГУ, г. Москва
a_reshetnikov@hush.com

Аннотация

Рассматриваются частичные алгебры, у которых каждое отношение эквивалентности является конгруэнцией. Вопрос о характеристизации таких частичных алгебр может быть сведён к вопросу о характеристизации частичных n -арных группоидов с тем же условием. Вводится понятие умеренно частичной операции. Приводится характеристика константных умеренно частичных операций, сохраняющих любое отношение эквивалентности на множестве

Введение

Конгруэнциям универсальных алгебр посвящено значительное число работ, как оригинальных, так и обзорных. Хорошо известно, что конгруэнции любой универсальной алгебры образуют решётку. А. Г. Пинусом [1] изучалась связь между универсальными алгебрами на одном и том же множестве с разными сигнатурами, но одинаковыми решётками конгруэнций. В. А. Щербаковым, А. Х. Табаровым и Д. И. Пушкашу [2] исследовались связи свойств конгруэнций группоидов – в частности, квазигрупп – со свойствами самого группоида (например, правой или левой сократимостью). А. В. Карташова [3] провела обзор результатов по конгруэнциям унарных алгебр; также конгруэнциям унарных алгебр посвящена диссертация В. Дж. ДеМео [4], особое внимание в которой уделено проблеме представления конечной решётки в виде решётки конгруэнций конечной алгебры. Проблеме вложимости алгебраической решётки в решётку конгруэнций группоида посвящена работа В. А. Лампе [5]. Конгруэнции полугрупп изучались в статье К. Ауингера [6], совместной статье Н. Кехайопулу и М. Цингелиса [7] и во многих других работах. В обзорных статьях Х. Митча [8, 9] большое внимание уделено вопросу о том, как связаны строение полугруппы и строение её решётки конгруэнций. Р. Фризом и Дж. Б. Нейшном [10] выявлены некоторые свойства абстрактного класса решёток, изоморфных решёткам конгруэнций полурешёток. Конгруэнции универсальных алгебр разных типов изучались в работах М. В. Лоусона [11], Р. Фриза, В. А. Лампе и В. Тейлора [12], Дж. Плонки [13].

Большой интерес алгебраистов занимали так называемые простые алгебры, точнее, конгруэнц-простые, т. е. алгебры A , у которых решётка конгруэнций $\text{Con } A$ имеет вид $\text{Con } A = \{\Delta, \nabla\}$, где $\Delta = \{(a, a) \mid a \in A\}$ –

отношение равенства на множестве A , а $\nabla = A \times A$ – универсальное отношение. К этому направлению относятся, в частности, теории простых групп, простых колец и модулей, простых и 0-простых полугрупп. Немало интересных результатов по данному направлению исследований можно найти в обзорной статье В. А. Артамонова [14].

Более общим понятием, чем универсальная алгебра, является понятие частичной алгебры, т. е. множества с частичными операциями, не обязательно одной и той же ариности (см. главу 2 монографии Г. Гретцера [15] и монографию Е. С. Ляпина и А. Е. Евсеева [16]). Напомним, что частичную операцию на множестве A можно определить как отображение некоторого подмножества множества A^n в множество A . Обычные (не частичные) алгебры мы далее называем полными.

Конгруэнции частичных алгебр, по-видимому, впервые были рассмотрены Г. Гретцером и Е. Т. Шмидтом [17]. В той же работе было установлено, что конгруэнции любой частичной алгебры A образуют алгебраическую решётку (т. е. решётку, каждый элемент которой является точной верхней гранью некоторого множества компактных элементов). Определение конгруэнции частичной алгебры подробно обсуждается в одной из последующих работ Г. Гретцера, совместной с Г. Х. Венцелем [18]: она целиком посвящена конгруэнциям частичных алгебр. Доказано, что любая алгебраическая решётка изоморфна решётке конгруэнций некоторой полной универсальной алгебры [15, § 18, theorem 3], а также решётке конгруэнций некоторой частичной алгебры, все операции которой являются унарными [15, § 18, theorem 1]. Легко проверить, что решётка конгруэнций частичной алгебры не обязательно является подрешёткой решётки отношений эквивалентности на A .

В современной алгебре проблемы переноса различных результатов с полных алгебр на частичные весьма актуальны. Особое место в данном направлении исследований занимают вопросы продолжаемости частичных операций до полных (см., например, статьи Е. С. Ляпина [19], Т. В. Апраксиной и М. Ю. Максимовского [20], А. О. Петрикова [21]). Настоящая статья относится именно к такому направлению исследований – обобщение результатов, полученных для полных алгебр, путём их переноса на частичные алгебры; при этом вопрос о продолжаемости получаемых частичных операций до полных операций оказывается в центре внимания.

Основная проблема, которой посвящена настоящая работа, состоит в следующем. Ф. Галвиным и А. Хорном в статье [22] была получена исчерпывающая характеристика полных операций, заданных на некотором множестве A , сохраняющих все отношения эквивалентности на A . В диссертационной работе автора данный результат был обобщён и перенесён на частичные алгебры особого вида, которые мы в данной статье будем называть *умеренно частичными* алгебрами. Однако, автором были рассмотрены лишь конечноарные умеренно частичные алгебры. Возникает вопрос: *каким образом теорема Галвина – Хорна может быть усилена, чтобы она стала применима к любым умеренно частичным алгебрам – в том числе и к таким, которые содержат бесконечноарные частичные операции?* Исходное доказательство Галвина и Хорна состоит из трёх частей; в данной работе мы как бы перестраиваем первые две части их доказательства с целью последующего усиления основной теоремы.

Основные определения и обозначения

Пусть A – произвольное множество, n – произвольный ординал. Напомним, что *частичной операцией*, заданной на множестве A , точнее – *частичной n -арной операцией*, называется какое-либо отображение $f: A' \rightarrow A$, где $A' \subseteq A^n$. Множество A' при этом называется *областью определения* частичной операции f ; мы будем использовать для него следующее обозначение: $A' = \text{dom } f$. Ординал n называется *арностью* частичной операции f . Произвольный кортеж $x \in A^n$ всегда можно рассматривать как отображение $x: I \rightarrow A$, полагая $I = \{i \mid i < n\}$ – множество ординалов – мы будем активно пользоваться таким представлением кортежей. В случае $\text{dom } f = A^n$ будем говорить, что f – *полная* операция. Если $x \in \text{dom } f$, то примем по определению, что для данного упорядоченного набора аргументов x значение выражения $f(x)$ не определено.

Частичную операцию f назовём *совершенно частичной операцией*, если $\text{dom } f = \emptyset$ (в таком случае $f = \emptyset$). Совершенно частичная n -арная операция, будучи заданной на некотором множестве A , тогда и только тогда является полной операцией, когда $n > 0$ и $A = \emptyset$. Для любого ординала n единственной частичной n -арной операцией, заданной на множестве $\emptyset$, является совершенно частичная n -арная операция $\emptyset$.

Произвольное множество A с заданной на нём частичной n -арной операцией f мы будем называть *частичным n -арным группоидом* и обозначать его через (A, f) . Если из контекста понятно, относительно какой частичной операции множество A рассматривается как частичный n -арный группоид, то вместо « (A, f) » мы иногда будем писать просто « A ». Будем говорить, что (A, f) – *полный n -арный группоид*, если f – полная n -арная операция. Для произвольного подмножества $A' \subseteq A^n$ положим

$$f(A') = \{f(x) \mid x \in A' \cap \text{dom } f\},$$

т. е. через $f(A')$ мы обозначаем образ множества A' под действием частичной операции f .

Пусть (A, f) – какой-либо частичный n -арный группоид. Рассмотрим на множестве A произвольное отношение эквивалентности $\rho \subseteq A^2$. Введём следующее обозначение: для любых упорядоченных наборов $x, y \in A^n$ положим

$$(x, y) \in \bar{\rho} \Leftrightarrow \text{для всех } i < n: (x(i), y(i)) \in \rho.$$

Если отношение эквивалентности ρ замкнуто относительно частичной операции f , т. е. удовлетворяет условию

$$(x, y) \in \bar{\rho} \Rightarrow (f(x), f(y)) \in \rho$$

при любых значениях $x, y \in A^n \cap \text{dom } f$, то отношение ρ называется *конгруэнцией* [15, § 13] частичного n -арного группоида (A, f) .

Заметим, что заголовок статьи [22], основную теорему которой мы стремимся перенести на частичные n -арные группоиды, вместо понятия конгруэнции использует равносильное понятие отношения, сохраняемого заданной операцией. (Речь идёт именно о заголовке работы: в самой работе авторы используют другой термин.)

Произвольную частичную операцию f назовём *константной* частичной операцией, если при любых значениях $x, y \in \text{dom } f$ имеет место равенство $f(x) = f(y)$.

Вспомогательные обозначения

Пусть A – произвольное множество. Решётку всех его отношений эквивалентности будем обозначать через $\text{Eq } A$. Отношение равенства на множестве A мы обозначаем через Δ :

$$\Delta = \{(a, a) \mid a \in A\}.$$

Атомы решётки $\text{Eq } A$ – т. е. отношения эквивалентности, у которых ровно один класс $\{a, b\}$ является двухэлементным, а все остальные классы одноэлементные – будем обозначать через ρ_{ab} :

$$\rho_{ab} = \{(a, b), (b, a)\} \cup \Delta.$$

Для произвольного элемента $a \in A$ обозначим через σ_a отношение эквивалентности, для которого в случае $|A| \geq 2$ множества $\{a\}$ и $A \setminus \{a\}$ являются единственными классами:

$$\sigma_a = \{(a, a)\} \cup (A \setminus \{a\})^2.$$

Для любых отношений эквивалентности $\alpha, \beta \subseteq A^2$ через $\alpha \vee \beta$ мы обозначаем их точную верхнюю грань в решётке $\text{Eq } A$; в частности, если $a, b, c, d \in A$ – различные элементы, то

$$\rho_{ab} \vee \rho_{cd} = \{(a, b), (b, a)\} \cup \{(c, d), (d, c)\} \cup \Delta.$$

Решётку конгруэнций произвольного частичного n -арного группоида (A, f) будем обозначать через $\text{Con}(A, f)$.

Понятие умеренно частичной операции

Возьмём произвольную частичную операцию f и зафиксируем некоторые из её аргументов – скажем, те, которые имеют порядковые номера $i_0, i_1, \dots, i_k, \dots$. Тогда мы получим новую частичную операцию $\tilde{f}$ – её аргументов может быть меньше, чем аргументов частичной операции f ; в случае бесконечной аргументности возможно, что аргументы частичных операций f и $\tilde{f}$ будут совпадать. Частичную операцию $\tilde{f}$ мы назовём *сечением* частичной операции f , поскольку, если у нас будет возможность изобразить их графики, мы заметим, что график частичной операции $\tilde{f}$ получается из графика частичной операции f путём сечения последнего некоторой гиперплоскостью, перпендикулярной одним координатным осям, параллельной каким-то другим координатным осям и содержащей

остальные координатные оси. Если каким-либо образом изобразить таблицы умножения данных частичных операций, то мы также заметим, что таблица умножения для $\tilde{f}$ получается из таблицы умножения для f путём «сечения» последней по некоторым строкам, столбцам и прочим «рядам» таблицы.

Приведём теперь формальное определение понятия сечения частичной операции. Пусть f – частичная n -арная операция, заданная на некотором множестве A . Введём обозначение: $I = \{i \mid i < n\}$ (все элементы множества I – ординалы). Выберем каким-либо образом подмножество $J \subseteq I$ с соблюдением единственного условия

$$A = \emptyset \Rightarrow I = J \quad (1)$$

Зафиксируем любое отображение $p: I \setminus J \rightarrow A$ (оно обязательно существует ввиду (1)). Т. к. все элементы множества J являются ординалами, то множество J вполне упорядочено и, следовательно, имеет определённый ординальный тип, который мы обозначим через m . Далее для каждого кортежа $t \in A^m$ определим соответствующий ему кортеж $x_t \in A^n$ следующим образом: рассмотрим на время кортеж t как отображение $J \rightarrow A$ (мы имеем право так поступить, поскольку вполне упорядоченные множества $\{i \mid i < n\}$ и J изоморфны) и положим

$$x_t(j) = \begin{cases} t(j), & \text{если } j \in J; \\ p(j), & \text{если } j \in I \setminus J. \end{cases}$$

Наконец, определим на множестве A частичную m -арную операцию f_p^J следующими соотношениями:

$$\begin{aligned} \text{dom } f_p^J &= \{t \in A^m \mid x_t \in \text{dom } f\}; \\ f_p^J(t) &= f(x_t) \quad \text{для всех } t \in \text{dom } f_p^J. \end{aligned}$$

Частичную операцию f_p^J назовём *сечением* частичной операции f .

Любая частичная n -арная операция f является своим собственным сечением, поскольку для неё всегда имеет место представление $f = f_\emptyset^I$ (здесь $I = \{i \mid i < n\}$).

Частичную n -арную операцию f назовём *умеренно частичной операцией*, если для любого ординала $j < n$ значение любого выражения вида

$$f(\underbrace{x_0, x_1, \dots, x_i, \dots, x_j, \dots}_{i < n})$$

определено по меньшей мере для трёх различных значений аргумента x_j (в то время как остальные аргументы фиксированы). Например, в случае бинарной частичной операции f условие умеренной частичности равносильно тому, что в таблице умножения для f любая строка и любой столбец содержат по крайней мере по три определённых значения.

Определение. Произвольную частичную n -арную операцию f , заданную на некотором множестве A , назовём *умеренно частичной операцией*, если для любого ординала $j < n$ и любого отображения $p: \{i | i < n\} \setminus \{j\} \rightarrow A$ сечение $f_p^{\{j\}}$ удовлетворяет условию $|\text{dom } f_p^{\{j\}}| \geq 3$.

Понятия умеренно частичной операции и сечения частичной операции естественным образом приводят к таким понятиям, как *умеренно частичный n -арный группоид* и *сечение частичного n -арного группоида*.

Свойства умеренно частичных операций

Рассмотрим основные свойства, которыми обладают умеренно частичные операции.

Предложение 1. Пусть частичная n -арная операция f задана на множестве $\emptyset$. Следующие условия равносильны:

- (i) f – умеренно частичная операция;
- (ii) $n \neq 1$.

Доказательство. (i) $\Rightarrow$ (ii). Пусть совершенно частичная n -арная операция f одновременно является умеренно частичной и унарной операцией; т. е. предположим, что $n = 1$. Тогда для ординала $j = 0$ и отображения $p = \emptyset$ по определению имеем $|\text{dom } f_{\emptyset}^{\{0\}}| \geq 3$. Но данное неравенство неверно, т. к. по условию $|\text{dom } f| = 0$.

(ii) $\Rightarrow$ (i). Непосредственно из определения умеренно частичной операции следует, что любая 0-арная частичная операция является умеренно частичной. Поэтому далее мы будем считать, что $n \geq 2$. Тогда никакое отображение вида $p: \{i | i < n\} \setminus \{j\} \rightarrow \emptyset$ не может быть построено ни при каком выборе значения для ординала j . По определению мы получаем, что f – умеренно частичная операция.

Предложение 2. Пусть f – умеренно частичная n -арная операция, заданная на некотором множестве A . Тогда справедливо хотя бы одно из следующих условий:

- (i) $|A| \geq 3$;
- (ii) $n = 0$;
- (iii) $A = \emptyset$ и $n \neq 1$.

Доказательство. Предположим, что условие (iii) не выполнено. Тогда $A \neq \emptyset$, согласно предложению 1. Предположим, что условие (ii) также не выполняется. В таком случае $n > 0$. Выберем произвольным образом какой-либо ординал $j < n$ и построим какое-либо отображение

$$p: \{i | i < n\} \setminus \{j\} \rightarrow A;$$

например, зафиксируем какой-либо элемент $a \in A$ и положим

$$p(i) = a \text{ для всех } i < n, \ i \neq j.$$

Т. к. f – умеренно частичная операция, её сечение $f_p^{\{j\}}$ удовлетворяет соотношению $|\text{dom } f_p^{\{j\}}| \geq 3$.

Поскольку $f_p^{\{j\}}$ – унарная частичная операция, то $(\text{dom } f_p^{\{j\}}) \subseteq A$. Следовательно, имеет место соотношение $|A| \geq 3$. Стало быть, условие (i) справедливо.

Предложение 3. Пусть f – полная n -арная операция, заданная на некотором множестве A . Операция f является умеренно частичной операцией в том и только том случае, когда выполнено хотя бы одно из следующих условий:

- (i) $|A| \geq 3$;
- (ii) $n = 0$ и $A \neq \emptyset$;
- (iii) $A = \emptyset$ и $n \geq 2$.

Доказательство. *Необходимость* выполнения хотя бы одного из условий (i) – (iii) для полной умеренно частичной операции следует из предложения 2 (напомним, что совершенно частичная 0-арная операция не может быть полной операцией). *Достаточность* условия (i) проверяется непосредственно; достаточность условия (ii) очевидна из определения умеренно частичной операции; достаточность условия (iii) следует из предложения 1.

Предложение 4. Пусть f – умеренно частичная операция. Тогда любое её сечение f_p^J является умеренно частичной операцией.

Доказательство. Арность частичной операции f обозначим через n , ординальный тип множества J – через m ; введём также обозначение $I = \{i | i < n\}$. Частичная операция f_p^J всегда имеет арность m . Рассмотрим три случая.

1-й случай: $m = 0$. Тогда непосредственно из определения следует, что f_p^J – умеренно

частичная операция.

2-й случай: $0 < m < n$. В данном случае $A \neq \emptyset$ ввиду (1). В целях упрощения выкладок введём обозначение $g = f_p^J$. Выберем произвольным образом ординал $k < m$ и рассмотрим какое-либо отображение $q: \{j | j < m\} \setminus \{k\} \rightarrow A$. Покажем, что $|\text{dom } g_q^{\{k\}}| \geq 3$.

Т. к. вполне упорядоченные множества J и $\{j | j < m\}$ изоморфны, между ними существует (однозначным образом определённый) изоморфизм $\varphi: J \rightarrow \{j | j < m\}$. Положим $\tilde{k} = \varphi^{-1}(k)$. Построим следующим образом отображение $\tilde{q}: I \setminus \{\tilde{k}\} \rightarrow A$:

$$\tilde{q}(i) = \begin{cases} q(\varphi(i)), & \text{если } i \in J \setminus \{\tilde{k}\}; \\ p(i), & \text{если } i \in I \setminus J. \end{cases}$$

Нетрудно заметить, что частичные операции $g_q^{\{k\}}$ и $f_{\tilde{q}}^{\{\tilde{k}\}}$ совпадают. Т. к. f – умеренно частичная операция, то $|\text{dom } f_{\tilde{q}}^{\{\tilde{k}\}}| \geq 3$. Т. о., $|\text{dom } g_q^{\{k\}}| \geq 3$.

Мы приходим к выводу, что частичная операция g умеренно частична (по определению).

3-й случай: $m = n$. В таком случае заведомо $I = J$. Следовательно, $p = \emptyset$. Отсюда $f_p^J = f_{\emptyset}^I = f$ – умеренно частичная операция.

Характеризация умеренно частичных n -арных группоидов (A, f) с условием $\text{Con } A = \text{Eq } A$ в случае $f = \text{const}$

Как уже говорилось во введении, доказательство теоремы Галвина – Хорна (точнее, основная его часть: импликация $(ii) \Rightarrow (iii)$) включает в себя три этапа. Следующая теорема обобщает утверждение, истинность которого устанавливается в результате проведения первого этапа основного доказательства:

Теорема 5. Пусть (A, f) – умеренно частичный n -арный группоид, удовлетворяющий следующему условию: для любого элемента $a \in A$ отношение эквивалентности σ_a является конгруэнцией частичного n -арного группоида (A, f) . Тогда следующие условия равносильны:

- (i) f – константная частичная операция;
- (ii) если $n > 0$ и $A \neq \emptyset$, то хотя бы один из упорядоченных наборов $x \in \text{dom } f$ удовлетворяет условию

$$\text{для всех } i < n: f(x) \neq x(i) \quad (2)$$

В частности, условия (i) и (ii) равносильны для любого частичного n -арного группоида (A, f) , удовлетворяющего условию $\text{Con } (A, f) = \text{Eq } A$.

Доказательство. При доказательстве используем обозначение $I = \{i | i < n\}$ (множество ординалов).

(i) $\Rightarrow$ (ii). Пусть f – константная частичная операция. Тогда $|f(A^n)| \leq 1$. Предположим, что выполнены условия $n > 0$ и $A \neq \emptyset$. Укажем упорядоченный набор $x \in \text{dom } f$ который удовлетворяет условию (2).

По условию, f – умеренно частичная операция, заданная на множестве A . Из предложения 2 следует, что $|A| \geq 3$ (поскольку $A \neq \emptyset$ и $n > 0$). В таком случае хотя бы один из элементов $c \in A$ удовлетворяет условию

$$\text{dom } f \neq \emptyset \Rightarrow f(A^n) = \{c\}. \quad (3)$$

Т. к. мы предположили, что $n > 0$, то $I \neq \emptyset$. Выберем произвольным образом какой-либо ординал $j \in I$ и какой-либо элемент $a \in A \setminus \{c\}$. Построим отображение $p: I \setminus \{j\} \rightarrow A$, имеющее вид

$$p(i) = a \quad \text{для всех } i < n, \quad i \neq j. \quad (4)$$

Далее рассмотрим сечение $f_p^{\{j\}}$. Из того, что частичная операция f умеренно частична, по определению следует

$$|\text{dom } f_p^{\{j\}}| \geq 3.$$

Из определения сечения частичной операции следует

$$\text{dom } f_p^{\{j\}} \subseteq \text{dom } f.$$

Из последних двух соотношений следует $|\text{dom } f| \geq 3$, и далее $f(A^n) = \{c\}$ ввиду условия (3); в частности:

$$f_p^{\{j\}}(A) = \{c\}. \quad (5)$$

Выберем произвольным образом элемент $b \in \text{dom } f_p^{\{j\}} \setminus \{c\}$ (хотя бы один такой элемент существует, поскольку $|\text{dom } f_p^{\{j\}}| \geq 3$). Из равенства (5) мы заключаем, что

$$f_p^{\{j\}}(b) = c. \quad (6)$$

Наконец, определим кортеж $x \in A^n$

следующим образом:

$$x(i) = \begin{cases} a, & \text{если } i \in I \setminus \{j\}; \\ b, & \text{если } i = j. \end{cases}$$

По определению сечения, из (4) и (6) следует

$$f(x) = f_p^{\{j\}}(b) = c.$$

Т. к. $a \neq c$ и $b \neq c$, то для упорядоченного набора x справедливо условие (2).

(ii) $\Rightarrow$ (i). Если $n = 0$ или $A \neq \emptyset$, то ясно, что f – константная частичная операция. Будем далее считать, что $n > 0$ и $A \neq \emptyset$. Предположим, что некоторый кортеж $x \in \text{dom } f$ удовлетворяет условию (2), но при этом частичная операция f не является константной частичной операцией. Приведём данное предположение к противоречию.

Введём обозначение:

$$f(x) = a. \quad (7)$$

Т. к. мы предположили, что f не является константной частичной операцией, то существует ещё один кортеж $y \in \text{dom } f$, для которого имеет место неравенство $f(x) \neq f(y)$. Положим

$$f(y) = b \quad (8)$$

По условию, частичная операция f умеренно частична. Тогда $|A| \geq 3$, согласно предложению 2. В таком случае для некоторого элемента $c \in A$ справедливы соотношения

$$c \neq a, \quad c \neq b \quad (9)$$

Рассмотрим отношение эквивалентности σ_a . Оно является конгруэнцией частичного n -арного группоида (A, f) (по условию теоремы). Если бы условие $(x, y) \in \sigma_a$ было справедливым, по определению конгруэнции было бы справедливым и условие $(f(x), f(y)) \in \sigma_a$. Но соотношения (7) и (8) показывают, что $(f(x), f(y)) \notin \sigma_a$. Следовательно, $(x, y) \notin \sigma_a$. Данное соотношение означает, что существует хотя бы один ординал $j > n$, удовлетворяющий условию

$$(x(j), y(j)) \notin \sigma_a \quad (10)$$

Поскольку, согласно нашему предположению, кортеж x удовлетворяет условию (2), то

$$x(j) \neq a \quad (11)$$

Тогда из (10) и (11) мы заключаем, что

$$y(j) = a \quad (12)$$

Трансформируя идею Ф. Галвина и А. Хорна, построим отображение $p: I \setminus \{j\} \rightarrow A$, имеющее вид

$$p(i) = \begin{cases} y(i), & \text{если } y(i) \neq a; \\ c, & \text{если } y(i) = a. \end{cases} \quad (13)$$

Далее рассмотрим сечение $f_p^{\{j\}}$. Из того, что частичная операция f является умеренно частичной, по определению следует

$$|\text{dom } f_p^{\{j\}}| \geq 3$$

В таком случае существует хотя бы один элемент

$$d \in \text{dom } f_p^{\{j\}} \setminus \{a, b\} \quad (14)$$

Определим теперь следующим образом кортеж $z \in A^n$:

$$z(i) = \begin{cases} p(i), & \text{если } i \in I \setminus \{j\}; \\ d, & \text{если } i = j. \end{cases} \quad (15)$$

Заметим, что $x \in \text{dom } f$, поскольку, согласно определению сечения, $f(z) = f_p^{\{j\}}(d)$. Кроме того, из (9), (13), (14) и (15) следует, что

$$z(i) \neq a \quad \text{для всех } i < n \quad (16)$$

Вспомним, что

$$x(i) \neq a \quad \text{для всех } i < n \quad (17)$$

ввиду условия (2). Тогда из (16) и (17) мы получаем соотношение $(x, z) \in \bar{\sigma}_a$. Следовательно, $(f(x), f(y)) \notin \sigma_a$. Т. е. ввиду (7):

$$f(z) = a. \quad (18)$$

Заметим, наконец, что:

$$y(i) = b \Leftrightarrow z(i) = b \quad \text{для всех } i < n. \quad (19)$$

Действительно, из (12) и (14) следует:

$$y(j), z(j) \neq b,$$

а из формул (13) и (9) очевидно, что:

$$p(i) = b \Leftrightarrow y(i) = b \quad \text{для всех } i < n.$$

Условие (19) означает, что $(y, z) \in \bar{\sigma}_b$.
Следовательно, $(f(y), f(z)) \notin \sigma_b$. Т. е.

$$f(z) = b \quad (20)$$

(поскольку $f(y) = b$, согласно (8)).

Условия (18) и (20) противоречат друг другу: в самом деле, мы изначально подобрали значение y таким образом, чтобы было выполнено условие:

$$a = f(x) \neq f(y) = b.$$

Отметим, что для унарных умеренно частичных группоидов формулировка теоремы 5 несколько упрощается:

Следствие. Пусть (A, f) – унарный умеренно частичный группоид, удовлетворяющий условию $\text{Con}(A, f) = \text{Eq } A$. Тогда $A \neq \emptyset$ (согласно предложению 1), и следующие условия равносильны:

- (i) f – константная частичная операция;
- (ii) хотя бы один из элементов $t \notin \text{dom } f$ удовлетворяет условию $f(t) \neq t$.

К вопросу о полной характеристизации умеренно частичных n -арных группоидов с условием $\text{Con } A = \text{Eq } A$

В данном разделе, если речь идёт о какой-либо частичной операции f , символом n всегда обозначена её арность, а символ I всегда обозначает множество ординалов $I = \{i | i < n\}$.

Рассмотрим произвольный умеренно частичный n -арный группоид (A, f) , удовлетворяющий условию $\text{Con}(A, f) = \text{Eq } A$. Подмножество $K \subseteq I$ назовём *выделенным*, если для некоторого константного отображения $p: K \rightarrow A$, т. е. такого отображения, которое удовлетворяет условию

$$K \neq \emptyset \Rightarrow \text{существует } c \in A: p(K) = \{c\},$$

сечение $f_p^{I \setminus K}$ является константной частичной операцией.

Предложение 6. Множество $\emptyset$ является выделенным тогда и только тогда, когда f – константная частичная операция.

Доказательство очевидно, поскольку $f_\emptyset^I = f$.

Далее будем считать, что частичная

операция f не является константной частичной операцией (в формулировках предложений мы будем об этом напоминать сообщением « $f \neq \text{const}$ »). В таком случае $n > 0$ и $A \neq \emptyset$. Более того: $|A| \geq 3$, согласно предложению 2.

Предложение 7. Пусть множество $K \neq \emptyset$ является выделенным и $f \neq \text{const}$. Тогда при любом отображении $p: K \rightarrow \{c\}$ сечение $f_p^{I \setminus K}$ удовлетворяет условию $f_p^{I \setminus K}(A^m) \subseteq \{c\}$ (здесь m – ординальный тип вполне упорядоченного множества $I \setminus K$).

Доказательство. По определению выделенного подмножества, $f_p^{I \setminus K}$ – константная частичная операция. Следовательно, $|f_p^{I \setminus K}(A^m)| \leq 1$. Согласно предложению 4, $f_p^{I \setminus K}$ – умеренно частичная операция. Тогда к частичному m -арному группоиду $(A, f_p^{I \setminus K})$ применима теорема 5. Рассмотрим два случая.

1-й случай: $K = I$. Построим кортеж $x \notin A^n$ следующего вида:

$$x(i) = c \quad \text{для всех } i < n.$$

По определению сечения имеем $f_p^{I \setminus K}(\{\emptyset\}) = \{f(x)\}$; иначе говоря: 0-арная операция $f_p^{I \setminus K}$, будучи заданной на множестве A , представляет среди элементов данного множества элемент $f(x)$. Предположим, что $f(x) \notin \{c\}$. Тогда из теоремы 5 следует, что f – константная частичная операция. Но это не так, поскольку $f \neq \text{const}$ по условию.

2-й случай: $K \neq I$. В таком случае $m > 0$, и из теоремы 5 следует, что

$$f_p^{I \setminus K}(A^m) = \{a\} \quad (21)$$

для некоторого элемента $a \in A$ (поскольку $f_p^{I \setminus K}$ – константная частичная операция, согласно определению выделенного подмножества). Предположим, что $a \neq c$.

Зафиксируем какой-либо ординал $k < m$, введём обозначение $f_p^{I \setminus K} = g$ для упрощения выкладок и построим отображение

$$q: \{j | j < m\} \setminus \{k\} \rightarrow A: j \mapsto c.$$

Рассмотрим сечение $g_q^{\{k\}}$. Т. к. g – умеренно частичная операция, то $|\text{dom } g_q^{\{k\}}| \geq 3$. Следовательно, существует хотя бы один элемент

$b \in \text{dom } g_q^{\{k\}} \setminus \{a, c\}$. Из (21) мы видим, что:

$$g_q^{\{k\}}(b) = a. \quad (22)$$

Теперь построим следующим образом кортеж $x \notin A^m$. Обозначим через $\varphi: I \setminus K \rightarrow \{j \mid j > m\}$ изоморфизм между двумя изоморфными вполне упорядоченными множествами $I \setminus K$ и $\{j \mid j > m\}$, введём обозначение $\tilde{k} = \varphi^{-1}(k)$ и положим:

$$x(i) = \begin{cases} b, & \text{если } i = \tilde{k}; \\ c, & \text{если } i \in I \setminus \{\tilde{k}\}. \end{cases}$$

Частичная операция $g_q^{\{k\}}$, будучи сечением частичной операции $f_p^{I \setminus K}$, также является сечением частичной операции f .

Мы выбрали отображение q и построили кортеж x таким образом, чтобы имело место равенство $f(x) = g_q^{\{k\}}(b)$. Но тогда $f(x) = a$ (см. формулу 22). По теореме 5, f – константная частичная операция. Данное заключение противоречит условию $f \neq \text{const}$.

Предложение 7 фактически является обобщением утверждения, получаемого в результате проведения второго этапа основной части доказательства теоремы Галвина – Хорна. Мы намеренно не формулируем предложение 7 в виде отдельной теоремы, поскольку основная сложность переноса теоремы Галвина – Хорна на умеренно частичные алгебры заключена в её третьей части.

На данном этапе мы готовы лишь предложить предварительную гипотезу. Прежде, чем приводить её формулировку, мы не будем напоминать определение γ -полного ультрафильтра, но напомним для него следующий критерий:

Лемма 8 [22]. Пусть X – произвольное множество, γ – произвольный бесконечный кардинал. Произвольное множество F является γ -полным ультрафильтром на множестве X тогда и только тогда, когда выполнены следующие условия:

- 1) каждый элемент $A \notin F$ является подмножеством множества X ;
- 2) каким бы ни было разбиение множества X на попарно непересекающиеся подмножества, если число этих подмножеств строго меньше γ , то ровно одно из них является элементом множества F .

Следствие. Пусть X – произвольное множество, γ – произвольный бесконечный

кардинал. Произвольное семейство F каких-либо подмножеств множества X является γ -полным ультрафильтром на множестве X тогда и только тогда, когда выполнены следующие условия:

- 1) $\emptyset \notin F$;
- 2) любое подмножество $F' \subseteq F$ удовлетворяет условию $0 < |F'| < \gamma \Rightarrow \bigcap F' \neq \emptyset$;
- 3) для любого подмножества $A \subseteq X$ имеет место альтернатива $A \in F$ или $X \setminus A \in F$.

Гипотеза. Пусть (A, f) – умеренно частичный n -арный группоид, удовлетворяющий условию $\text{Con}(A, f) = \text{Eq} A$. Если частичная операция f не является константной частичной операцией, то семейство F , состоящее из всех выделенных подмножеств множества ординалов $\{i \mid i < n\}$, является γ -полным ультрафильтром для наименьшего бесконечного кардинала $\gamma > |A|$.

Данная гипотеза, как утверждает теорема Галвина – Хорна, верна в классе полных n -арных группоидов. Для частичных n -арных группоидов гипотеза верна в классе конечноарных умеренно частичных n -арных группоидов (фактически об этом говорилось во введении). Если данная гипотеза верна в каком-либо классе K умеренно частичных n -арных группоидов, то мы можем считать, что умеренно частичные n -арные группоиды из класса K охарактеризованы полностью вот в каком смысле.

Продолжим рассматривать наш частичный частичный n -арный группоид (A, f) . Он удовлетворяет условию $\text{Con}(A, f) = \text{Eq} A$. Пусть g – произвольная полная n -арная операция. Будем говорить, что частичная операция f продолжается до полной операции g , если:

$$f(x) = g(x) \quad \text{для всех } x \in \text{dom } f.$$

Предложение 9. Пусть $f \neq \text{const}$. Если семейство F , состоящее из всех выделенных подмножеств множества I , является γ -полным ультрафильтром для некоторого кардинала $\gamma > |A|$, то f продолжается до некоторой полной операции g такой, что $\text{Con}(A, g) = \text{Eq} A$.

Доказательство. Пусть $x \notin A^n$ – произвольный кортеж. Рассмотрим следующее разбиение множества I на попарно непересекающиеся подмножества:

$$I = \bigcup_{c \in A} I_c, \quad \text{где } I_c = \{i \in I \mid x(i) = c\}.$$

По лемме 8 ровно одно из множеств I_c является элементом множества F . Тогда I_c – выделенное

подмножество (по условию). Из предложения 7 следует, что $f(x) \subseteq \{c\}$. Положим $g(x) = c$. Тогда $\text{Con}(A, g) = \text{Eq } A$ по теореме Галвина – Хорна.

Следующие утверждения предоставляют дополнительное обоснование высказанной гипотезы.

Предложение 10. Пусть $f \neq \text{const}$. Тогда для любых выделенных подмножеств K_1 и K_2 справедливо соотношение $K_1 \cap K_2 \neq \emptyset$.

Доказательство. Предположим, что $K_1 \cap K_2 = \emptyset$. Т.к. частичная операция f не является константной частичной операцией, то, согласно предложению 6, $K_1 \neq \emptyset$ и $K_2 \neq \emptyset$. Выберем произвольным образом ординалы $k_1 \in K_1$ и $k_2 \in K_2$. Т.к. f – умеренно частичная операция, то $|A| \geq 3$. Выберем произвольным образом два различных элемента $a, b \in A$ и построим отображения $p_1 : I \setminus \{k_1\} \rightarrow A$ и $p_2 : I \setminus \{k_2\} \rightarrow A$:

$$p_1(i) = \begin{cases} a, & \text{если } i \in K_1 \setminus \{k_1\}; \\ b, & \text{если } i \in K_2; \\ e, & \text{если } i \in I \setminus K_1 \setminus K_2; \end{cases}$$

$$p_2(i) = \begin{cases} a, & \text{если } i \in K_1; \\ b, & \text{если } i \in K_2 \setminus \{k_2\}; \\ e, & \text{если } i \in I \setminus K_1 \setminus K_2 \end{cases}$$

(здесь $e \in A$ – произвольный элемент). Согласно предложению 7, имеют место соотношения:

$$f_{p_1}^{\{k_1\}}(A) \subseteq \{b\}; \quad f_{p_2}^{\{k_2\}}(A) \subseteq \{a\}. \quad (23)$$

По определению умеренно частичной операции, сечения $f_{p_1}^{\{k_1\}}$ и $f_{p_2}^{\{k_2\}}$ удовлетворяет условиям:

$$|\text{dom } f_{p_1}^{\{k_1\}}| \geq 3; \quad |\text{dom } f_{p_2}^{\{k_2\}}| \geq 3.$$

Следовательно, существуют элементы:

$$c \in \text{dom } f_{p_1}^{\{k_1\}} \setminus \{a, b\}; \quad d \in \text{dom } f_{p_2}^{\{k_2\}} \setminus \{a, c\}.$$

Рассмотрим кортежи $x, y \notin A^n$ следующего вида:

$$x(i) = \begin{cases} c, & \text{если } i = k_1; \\ p_1(i), & \text{если } i \in I \setminus \{k_1\}; \end{cases}$$

$$y(i) = \begin{cases} d, & \text{если } i = k_2; \\ p_2(i), & \text{если } i \in I \setminus \{k_2\}; \end{cases}$$

Т.к. мы подобрали значения c и d таким

образом, чтобы были выполнены условия

$$f(x) = f_{p_1}^{\{k_1\}}(c); \quad f(y) = f_{p_2}^{\{k_2\}}(d), \quad (24)$$

то из (23) и (24) следует справедливость условий

$$f(x) = b; \quad f(y) = a. \quad (25)$$

Далее рассмотрим два случая.

1-й случай: $b = d$. Тогда $(x, y) \in \bar{\rho}_{ac}$.

Следовательно, $(f(x), f(y)) \in \rho_{ac}$, т.е. $(b, a) \in \rho_{ac}$ – противоречие с определением отношения ρ_{ac} (т.к. a, b, c – различные элементы).

2-й случай: $b \neq d$. Тогда все четыре элемента a, b, c, d различны. Имеем $(x, y) \in \bar{\rho}_{ac} \vee \bar{\rho}_{bd}$, откуда $(f(x), f(y)) \in \rho_{ac} \vee \rho_{bd}$.

Мы получили соотношение $(b, a) \in \rho_{ac} \vee \rho_{bd}$, которое также является неверным.

Т.о., исходное предположение $K_1 \cap K_2 = \emptyset$ неверно. Имеет место соотношение $K_1 \cap K_2 \neq \emptyset$.

Предложение 11. Пусть $f \neq \text{const}$. Тогда, каким бы ни было разбиение множества $I = K_1 \cup K_2$ на два непересекающихся подмножества K_1 и K_2 , хотя бы одно из них является выделенным подмножеством.

Доказательство предложения 11 почти дословно повторяет доказательство предложения 10 с той лишь разницей, что в данном случае условия (23) не обязаны выполняться; вместо соотношений (25), согласно теореме 5, имеют место соотношения

$$f_{p_1}^{\{k_1\}}(c) \subseteq \{a, c\}; \quad f_{p_2}^{\{k_2\}}(d) \subseteq \{b, d\} \quad (26)$$

(Пусть, например, первое из условий (26) не выполняется. Обозначим через p ограничение отображения p_1 на множество K_2 и рассмотрим сечение $f_p^{K_1}$. Согласно предложению 4, $f_p^{K_1}$ – умеренно частичная операция. В таком случае к ней применима теорема 5, и мы получаем, что $f_p^{K_1}$ – константная частичная операция. Т.к. отображение p константное, то K_2 – выделенное подмножество, что противоречит условию предложения.)

Основная теорема настоящей работы предлагает два конкретных вопроса и гарантирует, что если ответ хотя бы на один из этих вопросов окажется положительным, то высказанная гипотеза верна, и теорема Галвина – Хорна в самом деле может быть перенесена на умеренно частичные алгебры предложенным способом:

Теорема 12. Пусть (A, f) – умеренно частичный n -арный группоид, удовлетворяющий условию $\text{Con}(A, f) = \text{Eq } A$. Пусть частичная операция f не является константной частичной операцией. Если семейство F , состоящее из всех выделенных подмножеств множества ординалов $I = \{i \mid i < n\}$, удовлетворяет хотя бы одному из следующих условий:

(i) каким бы ни было разбиение множества I на попарно непересекающиеся подмножества, если число этих подмножеств не превышает $|A|$, то хотя бы одно из них является элементом множества F ;

(ii) для любого подмножества $F' \subseteq F$ справедливо

$$0 < |F'| \leq |A| \Rightarrow \cap F' \neq \emptyset,$$

то F является γ -полным ультрафильтром на множестве I для наименьшего бесконечного кардинала γ , удовлетворяющего условию $\gamma > |A|$, и частичная операция f продолжается до некоторой полной операции g такой, что $\text{Con}(A, g) = \text{Eq } A$.

Доказательство. Если выполнено условие (i), то утверждение теоремы следует из леммы 8 и предложений 9 и 10. Если же имеет место условие (ii), то утверждение теоремы истинно по следствию из леммы 8 с учётом предложений 6 и 9–11.

Выводы

В истории развития науки известно немало примеров, когда для объектов, в некотором смысле противоположных хорошо изученным или активно изучаемым, ставилась проблема их изучения. Например, в статье Л. Н. Шеврина [23, § 2, п. 2.3, стр. 50] дано описание полугрупп, у которых любое непустое подмножество является подполугруппой – такие полугруппы в некотором смысле противоположны простым полугруппам. В статье [22], по сути говоря, изучались универсальные алгебры с условием $\text{Con}(A, f) = \text{Eq } A$. Такие алгебры как бы противоположны конгруэнц-простым алгебрам.

Верно ли, что класс умеренно частичных алгебр, у которых каждое отношение эквивалентности является конгруэнцией, совпадает с классом частичных алгебр, каждая из которых получена путём вычёркивания значений у некоторой полной алгебры такой, что каждое её отношение эквивалентности является конгруэнцией? На сегодняшний день данный вопрос остаётся открытым.

Литература

1. Пинус А. Г. Об универсальных алгебрах с идентичными производными объектами (конгруэнциями, алгебраическими множествами). // Сиб. электрон. матем. изв., Т. 11, 2014. – С. 752–758.
2. Щербаков В. А., Табаров А. Х., Пушкашу Д. И. О конгруэнциях группоидов, тесно связанных с квазигруппами. // Фундамент. и прикл. Матем, Т. 14, №5, 2008. – С. 237–251.
3. Карташова А. В. О решетках конгруэнций и топологий унарных алгебр. // Чебышевский сб., Т. 12, вып. 2, 2011. – С. 27–33.
4. William J. DeMeo. Congruence lattices of finite algebras. – 2012. – 114 p.
5. Lampe W. A. Congruence lattices of algebras of fixed similarity type, II. // Pacific J. Math., Vol. 103, no. 2., 1982. – P. 475–508.
6. Auinger K. The congruence lattice of a strict regular semigroup. // Journal of Pure and Applied Algebra, V. 81, issue 3, 7 September 1992. – P. 219–245.
7. Kehayopulu N., Tsingelis M. g-Congruences on Semigroups, Ordered Semigroups. // International J. of Algebra, Vol. 5, no. 24, 2011. – P.1189–1194.
8. Mitsch H. Semigroups and their lattice congruences. // Semigroup Forum, V. 26, №1–2, 1983. – P. 1–64.
9. Mitsch H. Semigroups and their lattice congruences II. // Semigroup Forum, V. 54, Issue 1, 1997. – P. 1–42.
10. Freese R., Nation J. B. Congruence Lattices of Semilattices. // Pacific J. of Math., Vol. 49, no. 1, 1973. – P. 51–58.
11. Lawson M. V. Congruences on ordered groupoids. // Semigroup Forum, Volume 47, Issue 1, 1993. – P. 150–167.
12. Freese R., Lampe W. A., Taylor W. Congruence lattices of algebras of fixed similarity type, I. // Pacific J. Math., Vol. 82, no. 1, 1979. – P. 59–68.
13. Plonka J. On lattices of congruences of relational systems and universal algebras. // Algebra Universalis, Volume 13, Issue 1, 1981. – P. 82–88.
14. Артамонов В. А. Универсальные алгебры. В кн.: Общая алгебра. Т. 2. / Артамонов В. А., Салий В. Н., Скорняков Л. А. и др. Под общ. ред. Скорнякова Л. А. – М.: Наука, Физматлит, 1991. – С. 295–367.
15. Grätzer. G. Universal algebra. Second Edition. – 2nd ed. with updates, Springer, New York, 2008; Second Edition, Springer Science + Business Media, LLC, 1979. – 586 pp.
16. Ляпин Е. С., Евсеев А. Е. Частичные алгебраические действия. – С.-Петербург, Росс. гос. пед. ун-т им. А. И. Герцена: Образование, 1991. – 163 с.

17. Grätzer G., Schmidt E. T. Characterizations of congruence lattices of abstract algebras. // Acta Sci. Math. (Szeged), Vol. 24, №3, 1963. – P. 34–59.
18. Grätzer G., Wenzel G. H. On the concept of congruence relation in partial algebras. // Math. Scand., Vol. 20, 1967. – P. 275–280.
19. Ляпин Е. С. Внутреннее полугрупповое продолжение некоторых полугрупповых амальгам. // Известия вузов. Матем., №11, 1993. – С. 20–26.
20. Апраксина Т. В., Максимовский М. Ю. Полигоны и частичные полигоны над полурешётками. // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Математика. Механика. Информатика, Т. 12, вып. 1, 2012. – С. 3–7.
21. Петриков А. О. Частичные полугруппы и отношения Грина. // Электр. информ. сист., №3(3), 2014. – С. 65–72.
22. Galvin F., Horn A. Operations preserving all equivalence relations. // Proc. Amer. Math. Soc., Vol. 24, no. 3, 1970. – P. 521–523.
23. Шеврин Л. Н. Полугруппы. В кн.: Общая алгебра. Т. 2. / Артамонов В. А., Салий В. Н., Скорняков Л. А. и др. Под общ. ред. Скорнякова Л. А. – М.: Наука, Физматлит, 1991. – С. 11–191.

Работа выполнена при поддержке гранта Центра ФПМ МГУ им. Ломоносова.

Решетников А. В. *О частичных бесконечноарных группоидах, у которых каждое отношение эквивалентности является конгруэнцией.* Операции, заданные на некотором множестве A , и сохраняющие все отношения эквивалентности на A , исчерпывающим образом были охарактеризованы Ф. Галвиным и А. Хорном в 1970 году. По сути это означает, что была получена характеристика универсальных алгебр, у которых решётка конгруэнций совпадает с решёткой отношений эквивалентности. Характеристика частичных алгебр с аналогичным условием неизвестна, но для частичных алгебр особого вида – в настоящей работе они названы умеренно частичными алгебрами – в частном случае, когда все их частичные операции являются конечноарными, характеристика была получена автором настоящей работы в 2017 году. Возникает вопрос: каким образом теорема Галвина – Хорна может быть усилена, чтобы она стала применима к любым умеренно частичным алгебрам – в том числе и к таким, которые содержат бесконечноарные частичные операции? Исходное доказательство Галвина и Хорна состоит из трёх частей; в настоящей работе первые две части их доказательства пересмотрены с целью последующего усиления основной теоремы.

Ключевые слова: умеренно частичная операция, частичная бесконечноарная операция, частичный n -арный группоид, решётка конгруэнций, решётка отношений эквивалентности, частичная алгебра.

Reshetnikov A. *On partial infinitary groupoids whose equivalence relations are congruences.* The operations on a set A preserving all equivalence relations on A were completely determined by F. Galvin and A. Horn in 1970. Basically it means a description of the algebras was obtained whose congruence lattice coincides its equivalence relation lattice. A description of the partial algebras with the similar condition is unknown, but for the partial algebras of a special kind – they are called moderately partial algebras in this paper – in the particular case when all their partial operations are finitary, a description was obtained by the author of this paper in 2017. One wonders how is it possible to strengthen the Galvin – Horn theorem so that a new theorem can be applied to all moderately partial algebras – including the moderately partial algebras which contain some infinitary partial operations? The original Galvin and Horn's proof consists of three parts; in this paper the first two parts of their proof are revised to eventually strengthen the theorem.

Keywords: moderately partial operation, partial infinitary operation, partial n -ary groupoid, congruence lattice, equivalence relation lattice, partial algebra.

*Статья поступила в редакцию 30.04.2020
Рекомендована к публикации профессором Павлышом В. Н.*

Численное решение краевой задачи конвективной диффузии в ограниченной неоднородной среде

Е. В. Перинская

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

elenaperinskaya@mail.ru

Аннотация

Рассматривается детерминированная математическая модель процесса перемешивания многокомпонентного материала в ограниченном рабочем пространстве аппарата, содержащего узлы конвективного типа. Основу модели составляет краевая задача для уравнений математической физики. Компьютерная реализация модели осуществляется с применением метода конечных разностей. Кардинальным направлением решения этой проблемы является применения математического моделирования с использованием современных моделей и компьютерных технологий. В этой связи разработка детерминированных математических моделей процессов функционирования аппаратов, содержащих узлы конвективного типа, и обоснование с их применением эффективных параметров оборудования является актуальной научно-технической задачей, имеющей отраслевое значение.

Введение

Технология изготовления ряда необходимых для народного хозяйства материалов предусматривает их получение из влажных неоднородных субстанций, перемешиваемых в процессе производства.

На многих предприятиях в составе технологического оборудования эксплуатируются машины и аппараты, содержащие узлы конвективного типа, а именно устройства, осуществляющие перемешивание многокомпонентных материалов, состоящих из жидкой и твердой фазы (технологические линии химических производств, предприятия строительных материалов, технологические процессы обогащения полезных ископаемых и т. п.). При этом качество конечного продукта во многом зависит от эффективности работы конвективных узлов.

В частности, конструкцией ряда электронных приборов предусмотрено применение узлов, основанных на изделиях из марганец-цинковых ферритовых порошков. Применяемый для их получения реактор-осадитель не позволяет получать осадки с хорошо воспроизводимыми свойствами без его реконструкции, т. к. в реакторе не достигается необходимая степень однородности компонентов в осадке, происходит залегание твердой фазы на днище, наблюдается налипание осадков на стенках. Реконструкция аппарата требует соответствующего обоснования, что вызывает необходимость теоретических и экспериментальных исследований.

Аналогичные проблемы требуют решения при проектировании машин, изготавливающих бетонные смеси, конструировании технологических

линий, осуществляющих подготовку увлажнённых масс обогащённого угля, и в других отраслях.

Кардинальным направлением решения этой проблемы является применения математического моделирования с использованием современных моделей и компьютерных технологий.

Современные детерминированные математические модели строятся на базе краевых задач для уравнений математической физики. Ввиду сложности процессов для их описания применяются нелинейные уравнения в частных производных, решение которых возможно только численными методами.

В этой связи исследование численных решений нелинейных краевых задач является актуальной задачей.

Цель работы

Анализ и обоснование алгоритмов численного решения краевых задач, лежащих в основе математических моделей процессов конвективного перемешивания неоднородных материалов.

Основное содержание работы

Как правило, сложное технологическое оборудование, реализующее процессы конвективного перемешивания многокомпонентных смесей, включает ряд узлов, предназначенных для воздействия на исходные материалы, конечной целью процесса является гомогенная масса, равномерно распределённая в рабочем объёме.

При проектировании используемых к настоящему времени аппаратов такого типа применяются традиционные методы, включающие вывод эмпирических зависимостей для расчёта

параметров с последующими многочисленными лабораторными экспериментами и опытно-промышленными испытаниями.

К сожалению, подобные методы уже исчерпали свои возможности, и применяемые аппараты не позволяют стабильно получать однородные смеси с хорошо воспроизводимыми свойствами без их реконструкции, т. к. в рабочем объеме машины не достигается необходимая степень однородности компонентов в осадке, происходит залегание твердой фазы на днище, наблюдается налипание осадков на стенках. Реконструкция аппарата требует соответствующего обоснования, что вызывает необходимость теоретических и экспериментальных исследований [1, 2].

Наиболее эффективным методом решения рассматриваемых задач является метод математического моделирования, позволяющий получить с помощью компьютера достаточно широкий набор данных о реконструируемом объекте без проведения долговременных и дорогостоящих натурных исследований [3, 4, 5].

Построение адекватной математической модели объекта или процесса является важнейшим этапом разработки сложных современных технологических систем. На базе математической модели объекта вырабатываются критерии качества и ограничения, выбираются структура и параметры проекта системы, технические средства реализации. Для технологических процессов принудительной обработки материалов могут быть построены различные по полноте и сложности описания математические модели. Основным фактором, определяющим полноту и точность математической модели, является цель моделирования.

Для математического моделирования сложных технологических процессов наиболее удобным в инженерном отношении и универсальным является метод построения математических моделей, базирующийся на физических законах (тепломассоперенос, гидродинамика, конвекция и т. д.).

Следуя изложенным принципам, получаем детерминированную математическую модель, основанную на физических законах и адекватно отражающую характер и параметры процесса.

Рассматривая технологическое оборудование, реализующее процесс конвективного воздействия на многокомпонентные смеси, очевидно, следует начать с базовой модели аппарата, содержащего один моно-лопастный конвективный элемент.

Математический аппарат для построения модели

Основные уравнения, используемые для построения моделей, представляют собой частный случай системы Навье-Стокса [5]:

$$\rho \left(u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + v \cdot \frac{\partial u}{\partial y} \right) = - \frac{dP}{dx} + \mu \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0; \quad (2)$$

где ρ – плотность текущего вещества, кг·с²/м⁴;
 μ – коэффициент вязкости, кг·с/м²;
 P – давление, кг/(м·с²);
 $u = u(x, y)$;
 $v = v(x, y)$ – компоненты вектора скорости;
 $\vec{w} = \vec{i}u + \vec{j}v$.

Введем характерные параметры:
 l – характерный размер (например, длина камеры), м; V – характерная скорость, м/с.

Примем безразмерные величины:

$$x' = \frac{x}{l}, \quad y' = \frac{y}{l}, \quad u' = \frac{u}{V}, \quad v' = \frac{v}{V}.$$

Тогда система (1)–(2) примет вид:

$$\rho \left(\frac{V^2}{l} u' \cdot \frac{\partial u'}{\partial x'} + \frac{V^2}{l} v' \cdot \frac{\partial u'}{\partial y'} \right) = - \frac{1}{l} \frac{dP}{dx'} + \frac{V}{l^2} \mu \frac{\partial^2 u'}{\partial y'^2};$$

$$\frac{\partial u'}{\partial x'} + \frac{\partial v'}{\partial y'} = 0.$$

Уравнение (1) перепишем в виде:

$$u' \cdot \frac{\partial u'}{\partial x'} + v' \cdot \frac{\partial u'}{\partial y'} = - \frac{1}{\rho V^2} \cdot \frac{dP}{dx'} + \frac{\mu}{\rho V l} \cdot \frac{\partial^2 u'}{\partial y'^2},$$

$$\frac{\rho V l}{\mu}$$

где $\frac{\rho V l}{\mu}$ – безразмерный параметр – число Рейнольдса.

Отдельно рассмотрим слагаемое:

$$\frac{1}{\rho V^2} \cdot \frac{dP}{dx} = \frac{d}{dx} \cdot \left(\frac{P}{\rho V^2} \right),$$

где $\rho = \text{const}, V = \text{const}$.

Величина $\frac{P}{\rho V^2}$ является безразмерным

давлением: $P' = \frac{P}{\rho V^2}$.

Тогда система (1)–(2) переходит к виду:

$$u' \cdot \frac{\partial u'}{\partial x'} + v' \cdot \frac{\partial u'}{\partial y'} = - \frac{dP'}{dx'} + \frac{1}{Re} \cdot \frac{\partial^2 u'}{\partial y'^2}; \quad (3)$$

$$\frac{\partial u'}{\partial x'} + \frac{\partial v'}{\partial y'} = 0. \quad (4)$$

Дальнейшее преобразование системы (3)–(4) направлено на исключение числа Рейнольдса:

$$\nu'' = \nu' \sqrt{Re}, y'' = y' \sqrt{Re},$$

тогда

$$\begin{cases} u' \cdot \frac{\partial u'}{\partial x'} + \frac{\nu''}{\sqrt{Re}} \cdot \sqrt{Re} \cdot \frac{\partial u'}{\partial y''} = -\frac{dP'}{dx'} + \frac{Re}{Re} \cdot \frac{\partial^2 u'}{\partial y''^2}; \\ \frac{\partial u'}{\partial x'} + \frac{\partial \nu''}{\partial y''} = 0. \end{cases}$$

Переобозначив переменные (опустив штрихи), получим окончательную систему:

$$u \cdot \frac{\partial u}{\partial x} + \nu \cdot \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{dP}{dx} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}; \quad (5)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial \nu}{\partial y} = 0. \quad (6)$$

В этой системе все величины безразмерные. Физический смысл условия (6) состоит в том, что внутри области источники и стоки отсутствуют:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial \nu}{\partial y} = \text{div} \vec{w} = 0.$$

Массовые силы, т. е. силы тяжести в системе (5)–(6) отсутствуют, т. к. при движении однородной жидкости ($\rho = \text{const}$) они исключаются из (5).

Принцип построения математической модели

В однолопастном конвективном аппарате математическая модель процесса перемешивания многокомпонентной смеси строится на базе уравнений, отражающих физический процесс конвекции массы, которая происходит за счет перемешивания смеси лопастью, угловая скорость вращения которой ω . Для формирования уравнений, положенных в основу математической модели, строится формализованная геометрическая модель.

Область существования решения представляет собой внутреннее пространство G рассматриваемого аппарата, и в этой области требуется определить концентрацию твердой фазы, учитывая при этом вихревые течения раствора, продольную и поперечную диффузию, форму внутреннего пространства и угловую скорость вращения лопасти.

Принципиальным моментом при построении математической модели является то, что она должна быть сформирована на базе системы уравнений в частных производных,

которая приводит к постановке краевой задачи с четырьмя неизвестными функциями [6, 7]: концентрация твердой компоненты, концентрация жидкой фазы, функция тока и поверхность кристаллизации. В конечном счёте необходимо установить условия и параметры, при которых обеспечивается равномерное распределение твёрдой фазы, следовательно, концентрацию жидкой фазы можно считать постоянной, хотя и неизвестной величиной (определяется автоматически в процессе моделирования).

Рассматриваемые задачи являются нелинейными и не имеют аналитических решений, что предопределяет применение численных методов.

Кроме того, предпринятые ранее попытки решения подобных задач основывались на том, что поле скоростей частиц раствора в аппарате известно, однако физически такие данные получить невозможно, вследствие чего приходится использовать те или иные способы приближений, что снижает качество получаемых решений. В данной же работе предложена математическая модель, позволяющая рассчитывать поле скоростей частиц перемешиваемой массы в процессе решения краевой задачи, в этом состоит существенное отличие предлагаемой модели от рассмотренных ранее.

Базовая компьютерная программа разработана для численного моделирования гидродинамических процессов при работе однолопастных машин конвективного типа [8].

Уравнение в безразмерных величинах имеет вид:

$$\begin{aligned} \frac{1}{T} \cdot \frac{\partial C}{\partial t} &= \frac{1}{l \cdot h} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial y} \cdot \frac{\partial C}{\partial y} - \frac{1}{l \cdot h} \cdot \frac{\partial \psi}{\partial y} \cdot \frac{\partial C}{\partial x} + \\ &+ \frac{D_L}{l^2} \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{D_H}{h^2} \cdot \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + f_1 + f_2 + f_3; \quad (7) \\ 0 < x < 1, \quad 0 < y < 1, \quad 0 < t < 1. \end{aligned}$$

Начальное условие:

$$C(x, y, 0) = C_0. \quad (8)$$

Граничные условия при отсутствии обмена с внешней средой:

$$\begin{aligned} C_x(0, y, t) &= C_x(1, y, t) = 0; \\ C_y(x, 0, t) &= C_y(x, 1, t) = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Функции f имеют вид:

$$f_1 = \begin{cases} 0; & x \neq x_1, y \neq y_1; \\ \frac{Q_1 \cdot (C_1 + C_2 + C_3 + C_4)}{\sqrt{l}}; & x = x_1, y = y_1; \end{cases} \quad (10)$$

$$f_2 = \begin{cases} 0; & x \neq x_2, y \neq y_2; \\ \frac{Q_2 \cdot C_5}{VI}; & x = x_2, y \neq y_2; \end{cases} \quad (11)$$

$$f_3 = \begin{cases} 0; & x \neq x_3, y \neq y_3; \\ -\frac{Q \cdot C}{VI}; & x = x_3, y = y_3. \end{cases} \quad (12)$$

Функция тока $\psi(x, y)$:

$$\frac{1}{l^2} \cdot \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \frac{1}{h^2} \cdot \frac{\partial^2 \psi}{\partial y^2} = \mu(x, y); \quad (13)$$

$$0 < x < 1, \quad 0 < y < 1;$$

$$\mu(x, y) = \begin{cases} \frac{W}{VI}; & x = x_0, y = y_0; \\ \frac{W}{VI \cdot FN \cdot (l^2(x - x_0)^2 + h^2(y - y_0)^2)}; & \\ x \neq x_0, y \neq y_0; \end{cases} \quad (14)$$

$$\psi(x, 0) = \psi(x, 1) = \psi(0, y) = \psi(1, y) = 0; \quad (15)$$

где x, y – координаты пространства, безразмерные величины;

t – время, с;

C – концентрация твердой фазы в рабочем объеме цилиндра, содержащего суспензию, г/см³;

l – максимальный размер по оси X (радиус цилиндра), см;

H – максимальный размер по оси Y (высота цилиндра), см;

VI – площадь поперечного сечения цилиндра, см²;

D_L, D_H – коэффициенты продольной и поперечной диффузии, безразмерные величины;

f_1, f_2 – функции, отражающие точечные источники твердой фазы, если они есть, г/(с·см);

f_3 – функция, отражающая отток суспензии, г/(с·см);

C_0 – начальное распределение концентрации твердой фазы, г/см³;

$(x_1, y_1), (x_2, y_2)$ – координаты точечных источников;

(x_3, y_3) – координаты точечного оттока;

Q_1, Q_2 – интенсивность источников, см³/с;

C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 – характеристики источников (концентрация), г/см³;

Q – интенсивность оттока $Q = Q_1 + Q_2$ см³/с;

C – характеристика оттока, г/см³;

T – время исследования процесса, с;

W – угловая скорость вращения лопасти, если в рабочем объеме устанавливается устойчиво конвективного перемешивания (при его отсутствии $W = 0$), об/с;

x_0, y_0 – координаты источника вращения;

FN – вязкость суспензии, безразмерна.

Численное решение краевых задач с использованием метода конечных разностей

Для решения нелинейных уравнений математической физики, на которых основаны математические модели процессов работы однолопастного конвективного аппарата, необходимо применять численные методы [9].

Численная реализация двумерных моделей:

$$\frac{1}{T} \cdot \frac{C_{ij}^{k+0,5} - C_{ij}^k}{0,5H_T} = -\frac{V_x}{l} \cdot \frac{C_{i+1,j}^{k+0,5} - C_{ij}^{k+0,5}}{h \cdot H_x} -$$

$$-\frac{V_y}{h} \cdot \frac{C_{i,j+1}^k - C_{ij}^k}{H_y} + \frac{D_L}{l^2} \cdot \frac{C_{i+1,j}^{k+0,5} - 2C_{ij}^{k+0,5} + C_{i-1,j}^{k+0,5}}{H_x^2} +$$

$$+ \frac{D_H}{h^2} \cdot \frac{C_{i,j+1}^k - 2C_{ij}^k + C_{i,j-1}^k}{H_y^2} + f;$$

$$\frac{D_L}{l^2 \cdot H_x^2} \cdot C_{i-1,j}^{k+0,5} - \left(\frac{1}{0,5 \cdot T \cdot H_T} - \frac{V_x}{l \cdot H_x} + \frac{2 \cdot D_L}{l^2 \cdot H_x^2} \right) \times$$

$$\times C_{ij}^{k+0,5} + \left(\frac{D_L}{l^2 \cdot H_x^2} - \frac{V_x}{l \cdot H_x} \right) \cdot C_{i+1,j}^{k+0,5} =$$

$$= \left(\frac{V_y}{h \cdot H_y} - \frac{D_H}{h^2 \cdot H_y^2} \right) \cdot C_{i,j+1}^k +$$

$$+ \left(\frac{2 \cdot D_H}{h^2 \cdot H_y^2} - \frac{1}{0,5 \cdot T \cdot H_T} - \frac{V_y}{h \cdot H_y} \right) \cdot C_{ij}^k -$$

$$- \frac{D_H}{h^2 \cdot H_y^2} \cdot C_{i,j-1}^k - f;$$

$$\frac{D_H}{h^2 \cdot H_y^2} \cdot C_{i,j-1}^{k+1} -$$

$$- \left(\frac{1}{0,5 \cdot T \cdot H_T} - \frac{V_y}{h \cdot H_y} + \frac{2 \cdot D_H}{h^2 \cdot H_y^2} \right) \cdot C_{ij}^{k+1} +$$

$$+ \left(\frac{D_H}{h^2 \cdot H_y^2} - \frac{V_y}{h \cdot H_y} \right) \cdot C_{i,j+1}^{k+1} =$$

$$= \left(\frac{V_x}{l \cdot H_x} - \frac{D_L}{l^2 \cdot H_x^2} \right) \cdot C_{i+1,j}^{k+0,5} +$$

$$+ \left(\frac{2 \cdot D_L}{l^2 \cdot H_x^2} - \frac{1}{0,5 \cdot T \cdot H_T} - \frac{V_x}{l \cdot H_x} \right) \cdot C_{ij}^{k+0,5} +$$

$$+ \frac{D_L}{l^2 \cdot H_x^2} \cdot C_{i-1,j}^{k+0,5} + f.$$

Метод конечных разностей для системы (7)–(15) [10]:

$$C_{i+1,j} = C_{ij} \left(1 - \frac{T \cdot H_T \cdot Q}{V} - \frac{2D_R \cdot T \cdot H_T}{R^2 \cdot H_R^2} \right) +$$

$$+ C_{i,j+1} \left(\frac{D_R \cdot T \cdot H_T}{2 \cdot r \cdot R \cdot H_R} + \frac{D_R \cdot T \cdot H_T}{R^2 \cdot H_R^2} - \frac{V_R \cdot T \cdot H_T}{2 \cdot R \cdot H_R} \right) +$$

$$+ C_{i,j-1} \left(\frac{V_R \cdot T \cdot H_T}{2 \cdot R \cdot H_R} - \frac{D_R \cdot T \cdot H_T}{2 \cdot r \cdot R^2 \cdot H_R} + \frac{D_R \cdot T \cdot H_T}{R^2 \cdot H_R^2} \right) +$$

$$+ \frac{Q_1(C_1 + C_2 + C_3 + C_4) + Q_2 C_5 \cdot T \cdot H_T}{V};$$

$$C_{i0} = C_{iN}; C_{0j} = C_{0M} = C_0;$$

$$\psi_{0k} = \psi_{Nk} = \psi_{j0} = \psi_{iM} = 0;$$

где $\psi(r_j, z_k) = \psi_{jk}; j=0, 1, \dots, N; k=0, 1, \dots, P$.

Полученная система уравнений позволяет численно решить поставленную краевую задачу.

Для исследования на ЭВМ гидродинамических параметров разработана программная модель [9, 10].

Назначение программы – численное решение задачи о распределении концентрации раствора в конвективном аппарате (7)–(15).

Результаты выводятся на печать в виде таблиц, снабженных комментариями, что упрощает их обработку. Концентрация твердой фазы печатается в виде таблицы 20×20 , что соответствует сетке, представляющей сечение аппарата. По этим данным строятся кривые равного уровня, причем отрицательные значения опускаются (они соответствуют наличию «вихрей»).

В исследованиях ряда авторов предложено ввести в рабочее пространство аппарата дополнительную конструкцию в виде диффузора с целью улучшения гидродинамических характеристик и качества конечного продукта.

Выполненные численные эксперименты показали, что предложенное усложнение конструкции не даёт ожидаемого эффекта в плане улучшения характеристик получаемой смеси [8, 9, 10].

Для дальнейшего использования разработанного комплекса программ к решению задач математического моделирования работы аппаратов подобного типа показаны направления доработки программ в зависимости от характера исследуемых процессов.

Выводы

В результате выполненных исследований решена задача построения детерминированных математических моделей, описывающих процесс функционирования однолопастных аппаратов конвективного типа. На основе метода конечных

разностей разработаны алгоритмы и программы для компьютерного исследования и обоснования направлений совершенствования оборудования.

Выполненные численные эксперименты позволили сформировать рекомендации по совершенствованию конструкций аппарата и улучшению основных параметров.

Установлено, что основное влияние на процесс конвективного перемешивания многокомпонентных материалов оказывают геометрические параметры (координаты установки элемента вращения, координаты расположения входных трубопроводов для поступающих компонентов) и технологические (скорость вращения конвективного элемента).

Разработанные программы могут быть применены к исследованию процессов подобного типа при проектировании аппаратов, работающих по принципу перемешивания реагирующих веществ.

Литература

1. Павлыш В. Н. Математическое моделирование машин, включающих узлы конвективного типа. / В. Н. Павлыш, Е. В. Перинская // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: международный сборник научных трудов Вып. 21. - Донецк: ДонГТУ, 2002. - С.178-184.
2. Павлыш В. Н. Расчет параметров машин, содержащих конвективные узлы, с применением компьютеров / В. Н. Павлыш, Е. В. Перинская // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: международный сборник научных трудов Вып. 26. - Донецк: ДонНТУ, 2003. - С. 10-14.
3. Павлыш В. Н. Математическое моделирование процесса конвективного перемешивания компонентов ферритового материала для электронной техники / В. Н. Павлыш, Е. В. Перинская // Машиностроение и техносфера XXI века: сб. тр. XXI международная. науч.-техн. конф., 15-20 сент. 2014 г., г. Севастополь. - Донецк: МСМ, 2014. - С. 202-206.
4. Павлыш В. Н. Математическое моделирование процессов функционирования специализированных аппаратов конвективного типа / В. Н. Павлыш, Е. В. Перинская // Проблемы искусственного интеллекта. - 2015. - № 0 (1). – С. 89-98
5. Математическое моделирование процессов обогащения полезных ископаемых: монография / В. Н. Павлыш, Е. И. Назимко, А. Н. Корчевский и др.; под общ. ред. В. Н. Павлыша, Е. И. Назимко; ГВУЗ «ДонНТУ». - Донецк: ВИК, 2014. – 463 с.
6. Самарский А. А., Моисеенко Б. Д. Экономичная схема сквозного счета для многомерной задачи Стефана. - Вычислительная

математика и математическая физика. 1965, 5, № 5, с. 816-827.

7. Павлыш В. Н., Перинская Е. В. Моделирование и расчет параметров машин, содержащих конвективные узлы и дополнительные конструкции. /«Прогрессивные технологии и системы машиностроения». Международный сборник научных трудов, вып. 28. ДонНТУ, Донецк, 2004, с. 224-230.

8. Павлыш В. Н., Лазебная Л. А., Перинская Е. В. Применение математического моделирования к исследованию параметров динамических процессов / Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров // Сборник трудов VII Международной научно-методической конференции в городе

Сусс (Тунис) с 08 по 17 октября 2013 г. – Донецк: ДонНТУ, 2013. – с. 184-188.

9. Перинская Е. В. Математическое моделирование и автоматизация проектирования аппаратов, содержащих узлы конвективного типа/ научный журнал «ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА», № 1 (15). – Донецк: ДонНТУ, 2019. - с. 21-27.

10. Павлыш В. Н., Перинская Е. В. Математическое моделирование процессов производства неметаллических материалов с применением критериальных зависимостей / «Прогрессивные технологии и системы машиностроения». Международный сборник научных трудов, вып. 32. Донецк, 2006, с. 167-171.

Перинская Е. В. Численное решение краевой задачи конвективной диффузии в ограниченной неоднородной среде. Рассматривается детерминированная математическая модель процесса перемешивания многокомпонентного материала в ограниченном рабочем пространстве аппарата, содержащего узлы конвективного типа. Основу модели составляет краевая задача для уравнений математической физики. Компьютерная реализация модели осуществляется с применением метода конечных разностей. Кардинальным направлением решения этой проблемы является применения математического моделирования с использованием современных моделей и компьютерных технологий. В этой связи разработка детерминированных математических моделей процессов функционирования аппаратов, содержащих узлы конвективного типа, и обоснование с их применением эффективных параметров оборудования является актуальной научно-технической задачей, имеющей отраслевое значение.

Ключевые слова: математическая модель, процесс, уравнение, численный метод, алгоритм.

Perinskaya E. Numerical solution of the boundary value problem of convective diffusion in a limited heterogeneous environment. The determined mathematical model of poly-component material mixing process in limited deal area of apparatus, contains convective device, is considered. The base of model is ending task for mathematical physics equations. Computer realize of model provides with ending-difference method using. The cardinal direction of solving this problem is the use of mathematical modeling using modern models and computer technologies. In this regard, the development of deterministic mathematical models of the processes of functioning of apparatuses containing convective-type units, and the justification with their use of effective equipment parameters is an urgent scientific and technical task of industry significance.

Keywords: mathematical model, process, equation, numerical method, algorithm.

Статья поступила в редакцию 30.04.2020
Рекомендована к публикации профессором Павлышом В. Н.

Инженерное образование

Использование технологии воркшоп для повышения креативности будущих инженеров-педагогов

Е. И. Приходченко

Донецкий национальный технический университет, г. Донецк

88rapoport88@mail.ru

Аннотация

Учебно-воспитательный процесс высшей школы должен быть нацелен на более высокий профессиональный уровень будущих специалистов. Развитие креативности, отход от нестандартного мышления, расширение поля компетенций и будет способствовать формированию неординарной личности. Технология воркшоп как раз и есть той инновацией, которая в корне изменит весь ход проведения занятий. Организуя воркшоп, педагог может применить множество интерактивных методов по своему усмотрению. Главная задача педагога – провести отдельное занятие или его фрагмент захватывающе, интересно, на высшем интеллектуальном уровне.

Введение

Образование в высшей школе на современном этапе требует обновления, наполнения новыми подходами к подаче изучаемого материала. Технология воркшоп как раз и есть той инновацией, которая в корне изменит весь ход проведения занятий на любой из их форм: либо на лекции, семинарском или практическом занятии, либо на лабораторной работе.

Цель и задачи исследования

Определившись с проблемой исследования, ставим целью представить наиболее полно технологию воркшоп в теоретическом и практическом аспектах. С этой целью намечаем следующие задачи:

- дать определение технологии воркшоп, представив её описание в научных трудах зарубежных и отечественных ученых.
- продемонстрировать практическое применение названной технологии в учебном процессе вуза.

Научные исследования проблемы

Изучением технологии воркшоп занимались ученые О. И. Шевченко, М. А. Волков, В. А. Леонов, Г. Г. Воробьев, Е. И. Маштабиц, Н. Н. Моисеев, К. Г. Ярмухмедова, Е. Н. Канивец, Л. Н. Онипченко и другие [1-6]. Исследователи указывали пути максимального задействования в учебном процессе каждого студента, создавая для него ситуацию успеха в достижении положительного результата решения проблем, минимизируя при этом неудачи.

Основное содержание статьи

Дефиниция «воркшоп» в переводе с английского обозначает «мастерская». Часто

данный термин переводят как «мастер-класс» Суть технологии состоит в активизации всех студентов, задействованных в учебном процессе, через самостоятельную работу в целом или её отдельный фрагмент, который очень важен в целостной структуре выполняемой работы. Воркшоп, по утверждению Е. И. Канивец и Л. Н. Онипченко, это «интенсивное учебное мероприятие, на котором учатся прежде всего, благодаря собственной активной работе» [5, с. 143].

Впервые технология появилась в США в 80-е годы XX ст. и предполагала применение различных методов, направленных на активизацию студентов. Продолжительность воркшопа от одного часа до полутора, т. е. академическая форма занятия в высшей школе. Это очень удобно для поддержания внимания в аудитории на высоком уровне. Если воркшоп применить во внеучебное время, то обязательно нужно помнить о классической его длительности. Иначе может наступить кризис внимания, и мероприятие утратит всякий смысл. Попытка проведения воркшопа во второй раз может быть воспринята негативно. Поэтому при применении указанной технологии главное – чувство меры времени и высокая степень задействованной всех участников. «Воркшопы» представляют прекрасную возможность для получения динамического знания. В этом случае нет проблем с мотивацией, так как студентам просто нравится учиться» [5, с. 145]. Они длительно активны, занимаясь социально значимой деятельностью.

Подход к их организации может быть фрагментарным, т. е. часть занятия посвящена данной технологии; целостным – все занятие ею охвачено; тематическим – тема, состоящая из нескольких лекций, проведена в рамках воркшопа; курсовым – через весь изучаемый курс красной нитью проходит совокупность разных интерактивных технологий, подобранных по нарастающей

динамике и в совокупности организованных в предлагаемую к рассмотрению технологию.

Итак, термин «технология» обозначает учение об искусстве. В нашем случае – искусстве обучать. Дефиниция «воркшоп» трактуется как «мастерская», откуда «технология воркшоп» – «это мастерская искусства обучения».

Рассмотрим, из каких методов состоит технология воркшопа по подходу к организации занятия: фрагментарная – «снежный ком», «аквариум», «микрофон» или «скажи свое слово», «один – вдвоем – все вместе».

Целостная – метод ретроспекции. Использование этого метода стимулирования познавательной активности обучаемого заключается в особенности преподнесения образовательного материала. Познание нового происходит за счет картины, составленной на основе ранее изученного. Студент строит догадки для решения новых вопросов, основываясь на ранее изученном материале. Даже не имея всех данных по новому материалу, обучаемый выдвигает гипотезы, основанные на прошлом материале.

Синектика (мозговой штурм). Метод базируется на групповом решении поставленной проблемы. Применяется широко при преподнесении нового материала, когда дано основное понятие, но еще не раскрыты все элементы изучаемого явления. Педагогом выдвигается проблемный вопрос, и в течение короткого времени обучаемый выдвигает догадки по поводу решения поставленной проблемы. При этом студенты работают в группах. По истечении времени, каждая группа представляет свою гипотезу решения проблемы с обоснованием. Чем больше решений предусматривается, тем больше возможностей для нахождения необычного, неожиданного пути решения проблемы. Синектика обучает творческому подходу к рассмотрению проблемы, развитию нестандартного мышления.

Тематическая – кейс-метод или метод анализа ситуаций. Предназначен для получения знаний по дисциплине, истина в которых плюралистична. Акцент обучения переносится на сотворчество студента и преподавателя. Результатом применения метода являются не только знания, но и навыки профессиональной деятельности. Технология метода заключается в следующем: разрабатывается модель определенной ситуации, произошедшей в реальной жизни; предлагается усвоить комплекс знаний, умений и навыков. При этом преподаватель выступает в роли ведущего: генерирует вопросы, фиксирует ответы, поддерживает дискуссию, управляет эмоциональным напряжением обучаемых, прибегает к системе группового оценивания деятельности студентов.

Портфолио. Метод, демонстрирующий достижения студента, его приобретенный опыт. Эта технология ориентирована на личность студента, учитывает и развивает его

индивидуальность, творческие способности. Метод портфолио обеспечивает систематичность и регулярность как мониторинга, так и самомониторинга процесса обучения. Портфолио, или портфель студента, вмещает все то лучшее, чего он достиг, демонстрирует прогресс обучаемого, умение размышлять над своими успехами и неудачами. Воспитывается объективность в оценивании своих возможностей, появляется видение способов преодоления трудностей, достижения более высоких результатов.

Деловые игры. С рождения и до самой старости человек играет. Со временем меняются задачи игры, ее установки, цели. В процессе обучения в вузе перед будущими специалистами стоит сложная задача: умение применять полученные умения и навыки в производственном процессе. Метод деловой или ролевой игры как нельзя лучше подходит для попытки реализации и видения своих действий, их последовательности при решении производственной задачи. Функция педагога в данном случае сводится к правильной постановке проблемы, требующей решения. Этот метод вводит студентов в игровое моделирование изучаемых явлений и вырабатывает жизненный опыт. Деловая игра имитирует реальность путем проживания ситуаций в роли и дальнейшем применении полученного опыта.

Метод проектов. Слово «проект» обозначает в переводе с англ. – брошенный наперед. Данный метод является письменным и не требует от обучаемых дополнительного самостоятельного изучения материала. Он формирует навыки стилистического оформления своих мыслей, логическое мышление, осмысление материала. Обучает студента работе по индивидуальному графику, рассмотрению материала с разных сторон, в разных контекстах. Формирует исследовательские навыки обучаемых и способствует обоснованию собственной рабочей теории.

«Круглый стол». Этот интерактивный метод обучает работе в группе, взаимодействию диады «студент-студент», прививает умение выслушать других, проявлять тактичность в высказываниях, выступать на публике. Сложность для преподавателя при применении метода дискуссии – это четко и верно выбрать тему, продумать логический ход работы, способствовать избежанию «лжедискуссии».

Курсовая – метод развития критического, комбинаторно-логического мышления, радиантного мышления, метод эвристического обучения.

Метод критического мышления был впервые разработан Сократом.

Джон Дьюи утверждает, что фундаментальная цель современного образования заключается не в предоставлении обучаемым информации, а в том, чтобы развивать у них практический способ мышления.

Критическое мышление обладает несколькими параметрами:

- полученная информация является начальным пунктом размышления;
- вначале критическое мышление характеризуется постановкой вопросов в выяснении проблемы, которые необходимо решить;
- критическое мышление всегда стремится к созданию убедительных аргументов.

По мнению ученых М. Векслера, А. Гелегао, Т. Воропай в критическом мышлении выделяют четыре этапа:

- актуализацию знаний, пробуждение интереса к теме, определение цели изучения конкретного материала;
- осмысления новой информации;
- формирование собственного мнения относительно изучаемого материала;
- обобщение и оценку информации, определение способов ее решения.

Критическое мышление предлагает умение строить нелогические выводы и принимать объективные решения.

Метод развития комбинаторно-логического мышления. Под комбинаторно-логическим мышлением понимаем продуктивный процесс, в результате которого происходит выбор необходимых знаний, способов, направленных на разрешение различным числом вариантов как частных конкретных задач, так и поиск общих закономерностей посредством мыслительных рассуждений.

Алгоритм развития комбинаторно-логического мышления.

Первое условие:

- содержание обучения должно носить цикличный характер – периодическое возвращение к наиболее важным ключевым моментам на очередной новой ветке познания и понимания;
- обучение на высоком уровне позволяет каждому обучаемому осуществить очередной этап своего развития.

Второе условие: предлагается специальная типология заданий, направленных на реализацию ближней и дальней целей обучаемого.

Третье условие: развитие комбинаторно-логического мышления органично соединяется с развитием предметных умений, тем самым отражается на успеваемости.

Четвертое условие: реализация прямого (на нормативной дисциплине) и косвенного (на факультативной дисциплине) развития комбинаторно-логического мышления.

Пятое условие: индивидуальная педагогическая поддержка.

Шестое условие: специально разработанные модели системы занятий, реализуемых посредством педагогического мастерства.

Седьмое условие: обеспечивается единство содержательного, мотивационного, критического,

корректирующего, рефлексивного, творческого компонентов.

Восьмое условие: специальные материалы для оценки и коррекции умений (уровневые тесты).

Девятое условие: педагогическая деятельность направляется на развитие комбинаторно-логического мышления, помня, что логическое мышление является приобретенным, а не врожденным качеством людей.

Метод развития радиантного мышления.

Радиантное (от «радиант» – точка небесной сферы, из которой распространяются видимые пути тел с равнонаправленными скоростями), или ассоциативное мышление – это способ работы мозга, когда происходящие в нем процессы мышления осуществляются в ключевых словах или графических образах. Ученый Тони Бьюзен разработал так называемые интеллектуальные или ментальные карты. Они, по мнению исследователя, дают возможность увеличения производительности мозга, сохранив его эффективность, если воспользоваться его способностью работать обоим полушариям одновременно.

Суть рассматриваемого метода заключается в определении основного понятия, от которого ответвляются идеи, мысли и задачи. Каждая ветвь может заключать несколько более дробных ветвей-подпунктов. К каждой ветви возможно оставлять комментарии, чтобы не запутаться в более сложном проекте.

Радиантное, или ассоциативное, мышление благоприятствует пониманию взаимосвязи явлений и путей достижения целей предметов, совершенствованию воображения и укреплению памяти. Радиантное мышление – это объединяющее звено между абстрактным и конкретным (предметным) мышлением. Чем развитие в обучаемых такой тип мышления, тем более целостен и эффективен его мыслительный процесс. Составляя ментальные карты, т. е. представляя мысли графическими образами, обучаемые проявляют индивидуальный способ восприятия и обработки информации.

Метод эвристического обучения (от гр. эвристика – обнаружение, открытие, отыскивание) – частично-поисковый метод, ставящий целью конструирование обучаемым собственного подхода к решению проблемы через перестраивание известной информации, согласование логических и эвристических способов познавательной деятельности; личностные интеллектуальные возможности обучаемого.

Эвристическое обучение, которое можно свести к следующим основным предписаниям:

- задание исследуется по частям, перебираются возможные варианты решения;
- формулируется возникшая проблема;
- изменяется и преобразуется проблема с выявлением новых свойств;

- выбирается эффективная система обозначений;
- задание подразделяется на части;
- рассуждение ведется от противного;
- умение обобщать;
- рассматривается несколько моделей решения творческой проблемы, выявляются связи между ними;
- отыскивается аналогия в природе;
- проверяется результат (по достаточности и излишку условий по содержанию интерпретации);
- выделяется главное.

Частично-поисковый, или эвристический, метод обучения предусматривает организацию активного поиска решения познавательных задач. При этом мыслительный процесс приобретает продуктивный характер. Главной его задачей является создание новых образовательных результатов. Это непрерывное открытие нового.

Выводы

Т. о., организуя воркшоп, педагог может применить множество интерактивных методов по своему усмотрению. Главная задача – провести отдельное занятие или его фрагмент захватывающе, интересно, на высшем интеллектуальном уровне. Ведь китайская мудрость гласит: «Расскажи – и я забуду, покажи – и я запомню, увлеку меня – и я научусь».

Приходченко Е. И. *Использование технологии воркшоп для повышения креативности будущих инженеров-педагогов.* Учебно-воспитательный процесс высшей школы должен быть нацелен на более высокий профессиональный уровень будущих специалистов. Развитие креативности, отход от нестандартного мышления, расширение поля компетенций и будет способствовать формированию неординарной личности. Технология воркшоп как раз и есть той инновацией, которая в корне изменит весь ход проведения занятий. Организуя воркшоп, педагог может применить множество интерактивных методов по своему усмотрению. Главная задача педагога – провести отдельное занятие или его фрагмент захватывающе, интересно, на высшем интеллектуальном уровне.

Ключевые слова: технология воркшоп, интерактивное обучение, компетентностный подход, креативная личность.

Prihodchenko K. I. *Using workshop technology to enhance the creativity of future engineers and educators.* The educational process of higher education should be aimed at a higher professional level of future specialists. The development of creativity, the departure from non-standard thinking, the expansion of the field of competencies will also contribute to the formation of an extraordinary personality. The workshop technology is precisely the innovation that will fundamentally change the entire course of the class. When organizing a workshop, the teacher can apply a variety of interactive methods as they see fit. The main task of the teacher is to conduct a separate lesson or its fragment in an exciting, interesting way, at the highest intellectual level.

Keywords: technology workshop, interactive learning, competency-based approach, creative personality.

Литература

1. Шевченко, О. И. Технологии нестандартного обучения / О. И. Шевченко, М. А. Волков, В. А. Леонов // Педагогика высшей школы – Казань, 2018 – № 3 (13) – С. 17-25.
2. Воробьев, Г. Г. Школа будущего начинается сегодня / Г. Г. Воробьев. – М. : Просвещение, 2001 – 174 с.
3. Маштабиц, Е. И. Компьютеризация обучения: проблемы и перспективы / Е. И. Маштабиц, Н. Н. Моисеев. – М., 2013 – 195 с.
4. Ярмухмедова, К. Г. Обучение иностранному языку по заочной форме с применением дистанционных технологий / К. Г. Ярмухмедова // Вестник Евразийской академии им. Д. А. Кунаева – Алматы, 2015 – № 3 – С. 152-157.
5. Канивец, Е. Н. Некоторые теоретические и практические аспекты организации обучения на основе воркшопа / Е. Н. Канивец, Л. П. Онипченко // Наукові праці ДонНТУ: Серія: педагогіка, психологія і соціологія – 2012 – № 12 – С. 143-147.
6. Приходченко, Е. И. Использование интерактивных технологий в процессе обучения студентов / Е. И. Приходченко // Вестник Академии гражданской защиты – 2019 – Вып. 3 (19) – С. 103-106.

Статья поступила в редакцию 05.06.2020

Рекомендована к публикации профессором Мальцевой Р. В.

Об авторах

Андриевская Наталия Климовна (1971 г. р.) – старший преподаватель кафедры автоматизированных систем управления факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета

Бельков Дмитрий Валерьевич (1965 г. р.) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной математики факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета

Бурлаева Екатерина Игоревна (1990 г. р.) – кандидат технических наук, специалист 1 категории отдела сетевых сервисов дирекции по информационным технологиям Республиканского предприятия «Энергия Донбасса» (г. Донецк)

Гришанов Сергей Александрович (1977 г. р.) – старший преподаватель кафедры электрических систем электротехнического факультета Донецкого национального технического университета

Дегонский Анатолий Иванович (1937 г. р.) – кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры эндокринологии лечебного факультета Донецкого национального медицинского университета им. М. Горького

Зензеров Владимир Иванович (1956 г. р.) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры прикладной математики факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета

Зори Сергей Анатольевич (1968 г. р.) – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры и заведующий кафедрой программной инженерии факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета, член Совета по защите докторских диссертаций Д 01.024.04

Канатуш Сергей Викторович (2000 г. р.) – студент 4 курса группы ИС-17а кафедры автоматизированных систем управления факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета

Криводубский Олег Александрович (1941 г. р.) – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры программной инженерии факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета

Лазебная Людмила Александровна (1967 г. р.) – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры прикладной математики факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета

Ларин Аркадий Михайлович (1948 г. р.) – кандидат технических наук, профессор кафедры электрических систем электротехнического факультета Донецкого национального технического университета

Павлыш Владимир Николаевич (1948 г. р.) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры и заведующий кафедрой прикладной математики факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета, председатель Совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 01.024.04, член Совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 01.008.01

Перинская Елена Владимировна (1966 г. р.) – кандидат технических наук, ассистент кафедры прикладной математики факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета

Приходченко Екатерина Ильинична (1950 г. р.) – доктор педагогических наук, профессор, профессор кафедры социологии и политологии социально-гуманитарного института Донецкого национального технического университета, заслуженный учитель Украины, академик Международной академии наук педагогического образования

Решетников Артём Владимирович (1985 г. р.) – кандидат физико-математических наук, научный сотрудник национального исследовательского университета «Московский институт электронной техники», научный сотрудник Центра фундаментальной и прикладной математики Московского государственного университета

Секирин Александр Иванович (1971 г. р.) – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры и заведующий кафедрой автоматизированных систем управления факультета компьютерных наук и технологий Донецкого национального технического университета

**Требования к статьям,
направляемым в редакцию научного журнала
«Информатика и кибернетика»**

Редколлегией принимаются к рассмотрению статьи, в которых рассматриваются важные вопросы в области информатики и кибернетики. Научный журнал издаётся с 2015 года, периодичность издания – 4 раза в год.

В журнале предусмотрены следующие рубрики:

- информатика и вычислительная техника;
- компьютерные и информационные науки;
- инженерное образование.

В соответствии с номенклатурой специальностей научных работников МОН ДНР первые две рубрики соответствуют следующим укрупненным группам специальностей научных работников:

05.01 – «Инженерная геометрия и компьютерная графика»,

05.13 – «Информатика, вычислительная техника и управление».

С 01.02.2019 Научный журнал включён в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук (приказ МОН ДНР № 135) по группам специальностей 05.01.00 и 05.13.00.

Рубрика «Инженерное образование» предназначена опубликования сотрудниками научно-методических статей.

Журнал также включён в базу данных РИНЦ (Российский индекс научного цитирования) (лицензионный договор № 425-07/2016 от 14.07.2016).

Статьи, представляемые в данный сборник, должны отвечать следующим требованиям. **Содержание статьи** должно быть посвящено актуальным научным проблемам и включать следующие необходимые элементы:

- постановку проблемы в общем виде, её связь с важными научными и практическими задачами;
- анализ последних исследований и публикаций, в которых решается данная задача и на которые опирается автор, выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается статья;
- формулировка цели статьи и постановка задач, решаемых в ней;
- изложение основного материала с полным обоснованием полученных научных результатов;
- выводы и перспективы последующих исследований в данном направлении.

Каждый элемент должен быть выделен соответствующим названием раздела, например, «введение», «постановка задачи», «цель и задачи работы», «цель статьи», «цель исследования», «цель разработки», «анализ ... », «сравнительная оценка ... », «разработка ... », «проектирование ... », «программная реализация», «тестирование ... », «полученные результаты», «выводы», «литература». Разделы «введение», «выводы», «литература» являются обязательными. Включать в названия разделов нумерацию не разрешается.

В основном тексте статьи формулируются и обосновываются полученные авторами утверждения и результаты. Выводы должны полностью соответствовать содержанию основного текста. Языки публикаций: русский, английский.

Объём статьи, формат страницы

Для оформления статьи следует использовать листы формата А4 (210x297 мм) с полями по 2,5 см со всех сторон. Нумерацию страниц выполнять не нужно.

Рекомендуемый объём статьи – 6-12 страниц. Рукописи меньшего объёма могут быть рекомендованы к публикации в качестве коротких сообщений.

Последняя страница текста статьи должна быть заполнена не менее чем на две трети, но содержать не менее трёх пустых строк в конце.

Форматирование текста

Подготовка статьи осуществляется в текстовом редакторе Microsoft Office Word.

Весь текст статьи оформляется шрифтом Times New Roman 10 пт с одинарным междустрочным интервалом, если ниже в требованиях не сказано иного. Абзацный интервал «перед» – 0 пт, «после» – 0 пт.

На первой строке с выравниванием по левому краю располагается УДК.

Заголовок (название) статьи оформляется шрифтом Times New Roman 14 пт, полужирное начертание, с выравниванием по центру (без абзацных отступов). Заголовок статьи следует печатать с прописной буквы без точки в конце, переносы слов не допускаются. Абзацный интервал «перед» – 12 пт, «после» – 12 пт.

После названия статьи следует информация об авторах, которая выравнивается по центру (без абзацных отступов). На одной строке указываются инициалы и фамилии всех авторов через запятую. Между двумя инициалами ставится пробел. С новой строки указывается название вуза (организации) и город (для каждого автора, если не совпадают). На следующей строке указываются адреса электронной почты (один адрес либо каждого автора – по желанию). Адрес электронной почты оформляется в виде гиперссылки.

К тексту аннотации применяется курсивное начертание, с выравниванием по ширине, отступы слева и справа по 1 см. Заголовок «Аннотация» выделяется полужирным начертанием. Объём аннотации – 450-550 символов (без пробелов). Абзацный интервал «перед» – 12 пт, «после» – 12 пт.

Основной текст статьи разбивается на две колонки шириной по 7,5 см (промежуток между столбцами – 0,99 см), выравнивается по ширине. Абзацный отступ первой строки – 1 см. Автоматический перенос слов не применяется.

Заголовки разделов выполняются шрифтом Arial 10 пт, полужирное курсивное начертание. Абзацный отступ отсутствует, интервал перед абзацем – 12 пт, после абзаца – 6 пт. Для заголовка «Введение» установить интервал «перед» – 0 пт, «после» – 6 пт.

Таблицы в тексте статьи

Название следует помещать над таблицей с абзацного отступа (1 см) в формате: слово «Таблица», пробел, номер таблицы, пробел, тире, пробел, название таблицы. Название таблицы записывают с прописной буквы без точки в конце строки и выравнивают по ширине. В ячейках таблицы устанавливается выравнивание текста по центру по вертикали. По горизонтали текст выравнивается по центру либо по левому краю. Границы ячеек таблицы должны быть только чёрного цвета, толщина линии – 1 пт. На все таблицы должны быть приведены ссылки в тексте статьи, при ссылке следует писать слово «табл.» с указанием её номера, например, «... данные приведены в табл. 5». Таблицы нумеруются в пределах статьи. Таблица располагается сразу после ссылки на неё, если это возможно (например, после окончания абзаца). Если же таблица не помещается на текущей странице, то она должна быть расположена в начале следующей страницы (или колонки). При необходимости допускается включение в статью таблицы, ширина которой превышает ширину колонки. В этом случае таблица и её название размещаются по центру страницы. Таблица не должна выступать за границы полей страницы. Таблица и её название отделяются от основного текста статьи одной пустой строкой до и после.

Рисунки в статье

Ссылки на иллюстрации по тексту статьи обязательны и оформляются в виде «... на рис. 2» и т. п. Рисунок и его подпись выравниваются по центру колонки (без абзацных отступов), положение рисунка – «в тексте». Размещается рисунок после его первого упоминания в тексте, если это возможно (например, после окончания абзаца). Если же иллюстрация не помещается на текущей странице, то она должна быть расположена в начале следующей страницы (или колонки). При необходимости допускается включение в статью рисунка, ширина которого превышает ширину колонки. В этом случае рисунок и его подпись выравниваются по центру страницы. Иллюстрация не должна выступать за границы полей страницы. Подпись рисунка оформляется в формате: слово «Рисунок», пробел, номер иллюстрации, пробел, тире, пробел, название рисунка. Название рисунка записывают с прописной буквы без точки в конце строки. Для подписи иллюстрации применяют курсивное

начертание. Иллюстрация и её подпись отделяются от основного текста статьи одной пустой строкой до и после. Не допускается выполнять рисунки с помощью встроенного графического редактора Microsoft Office Word. Если на иллюстрации имеется текст, размер шрифта должен быть не менее чем аналогичный текст, набранный шрифтом Times New Roman 10-го размера. Иллюстрация не должна содержать много незаполненного пространства.

Формулы

Формулы и уравнения рекомендуется набирать с использованием MathType (предпочтительно) или MS Equation. Формулы и математические символы не должны существенно отличаться по размеру от основного текста. Обязательной является нумерация формул, на которые имеется ссылка в тексте статьи. Ссылки в тексте на порядковые номера формул дают в скобках, например, «... согласно формуле (2)». Формулы размещаются по центру колонки, а их номера – по правому краю. Как для строки с формулой, так и для первой строки пояснений (при наличии), абзацный отступ убирается. Первая строка пояснения начинается со слова «где», после которого следует поставить табуляцию на 1 см, затем само пояснение в формате: символ, подлежащий объяснению, пробел, тире, пробел, поясняющий текст, запятая, обозначение единицы измерения физической величины. Пояснения перечисляются через точку с запятой, выравниваются по ширине. Вторая и последующие строки пояснений начинаются с абзацного отступа (1 см). Весь блок текста, связанный с формулой (только формула, несколько формул подряд или формула с пояснениями), отделяется от основного текста одной пустой строкой до и после. Переносить формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют. При переносе формулы на знаке умножения применяют знак « $\times$ ». Формулы и математические уравнения могут быть записаны в тексте документа, если их высота не превышает высоту строки. При этом следует учитывать, что знаки математических операций отделяются от чисел или символов пробелами с обеих сторон. Например, «Если учесть, что $y < 0$ и $2x + y = 1$, то из формулы (3) можно выразить x ...». К символам, которые приведены в формуле, при дальнейшем их употреблении (в том числе в пояснениях к формуле) должно применяться курсивное начертание. При этом к любым числам (верхние и нижние индексы, содержащие цифры и т.п.), а также к математическим знакам курсивное начертание не применяется. Не допускается вставлять формулы, выполненные в виде рисунков.

Перечисления: оформление списков

Основной текст статьи может содержать перечисления, оформленные в виде маркированного списка. В качестве маркера элемента списка разрешается использовать только короткое тире «—». Каждый элемент перечисления записывается с новой строки с абзацного отступа, равного 1 см. После символа короткого тире текст располагается с отступом в 1,5 см от левой границы строки, выравнивается по ширине, при переносе на новые строки располагается без отступов. Нумерованные и многоуровневые списки включать в статью не разрешается.

Литература

В тексте статьи обязательны ссылки на все литературные источники, номер источника указывается в квадратных скобках. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются. Рекомендуемое количество источников, на которые ссылается автор, не менее 10. Перечень источников приводится в порядке их упоминания в статье. Библиографическое описание каждого литературного источника оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100–2018. Перечень литературных источников оформляется в виде нумерованного списка. В качестве маркеров элементов списка используют порядковые арабские цифры с точкой. Каждый источник представляет собой отдельный элемент перечисления, записывается с новой строки с абзацного отступа, равного 1 см. После порядкового номера с точкой текст располагается с отступом в 1,5 см от левой границы строки, выравнивается по ширине, при переносе на новые строки располагается без отступов.

В конце статьи обязательно приводятся аннотации на русском и английском языках, каждая заканчивается перечнем 5-6 ключевых слов.

К тексту аннотации применяется курсивное начертание, с выравниванием по ширине, отступы слева и справа по 1 см. Слово «Аннотация» опускается. Текст аннотации начинается с ФИО авторов и названия статьи, выделяемых полужирным начертанием. Аннотация на русском языке совпадает с аннотацией, приведенной в начале статьи. В тексте аннотации на английском языке после фамилии автора указывается только первая буква имени с точкой. Абзацный интервал «перед» – 12 пт, «после» – 12 пт. Ключевые слова оформляются с новой строки аналогично тексту аннотации. Заголовок «Ключевые слова:» (англ. «Keywords:») выделяется полужирным начертанием. Ключевые слова перечисляются через запятую.

Порядок представления статьи и сопроводительные документы

В редакцию необходимо представить:

- файл с текстом статьи;
- файл, содержащий фамилию, имя и отчество авторов полностью; ученую степень, ученое звание; место работы с полным указанием должности, подразделения и наименования организации, города (страны); номера телефонов и e-mail для связи;
- экспертное заключение о возможности публикации статьи, подписанное руководителем и заверенное печатью организации, в которой работает автор статьи;
- выписка из заседания кафедры или письмо организации с просьбой об опубликовании и указанием, что изложенные в статье результаты ранее не публиковались.

Статьи и сопроводительные документы следует высылать на электронный адрес infcyb.donntu@yandex.ru.

К сведению авторов

Если статья оформлена с нарушением указанных выше требований и правил, редакция после предварительного рассмотрения может отклонить статью.

На рецензирование статьи направляются членам редакционной коллегии журнала. Все статьи публикуются при наличии положительной рецензии.

В статью могут быть внесены изменения редакционного характера без согласования с автором. Ответственность за содержание статьи и качество перевода аннотаций несут авторы.

Публикация статей в научном журнале «Информатика и кибернетика» осуществляется на некоммерческой основе.

Все номера Научного журнала размещаются на сайте <http://infcyb.donntu.org/>.

CONTENT

Informatics and computer engineering

Analysis of the influence of synchronous generators model on the accuracy of the transients simulation during non-synchronous repeated switching	
<i>Larin A., Grishanov S., Zori S.</i>	5
The analysis of possibilities to use the ready-made dictionaries for acquiring ontology concepts	
<i>Andrievskaya N., Sekirin A., Kanatush S.</i>	13
Analysis of methods for processing and classification of information in the field of medical and technical diagnostics	
<i>Pavlysh V., Degonsky A., Burlaeva E.</i>	21
Method of equivalent mappings in control systems algorithms	
<i>Krivodubski O.</i>	27
Modeling of congested flow	
<i>Zenzerov V., Belkov D.</i>	34
The principles of the formation of a mathematical model of the process of hydraulic impact on a coal seam, taking into account the features of its structure and parameter management	
<i>Lazebnaya L.</i>	40

Computer and information science

On partial infinitary groupoids whose equivalence relations are congruences	
<i>Reshetnikov A.</i>	47
Numerical solution of the boundary value problem of convective diffusion in a limited heterogeneous environment	
<i>Perinskaya E.</i>	58

Engineering education

Using workshop technology to enhance the creativity of future engineers and educators	
<i>Prihodchenko K.</i>	65

<u>About Authors</u>	69
----------------------------	----

<u>Requirements to articles which are sent to the editors office of the scientific journal "Informatics and Cybernetics"</u>	70
--	----

Электронное периодическое издание

Научный журнал

ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА

(на русском, английском языках)

№ 2 (20) - 2020

Ответственный за выпуск Р. В. Мальчева

Технический редактор Р. В. Мальчева

Компьютерная верстка А. И. Воронова

Подписано к выпуску 15.06.2020. Усл. печ. лист. 8,7. Уч.-изд. лист. 6,1.
Адрес редакции: ДНР, 83001, г. Донецк, ул. Артема, 58, ГОУ ВПО «ДонНТУ»,
4-й учебный корпус, к. 36., ул. Кобозева, 17.
Тел.: +38 (062) 301-07-35, +38 (071) 334-89-11
E-mail: infcyb.donntu@yandex.ru, URL: <http://infcyb.donntu.org>