

ОБЩЕТЕХНИЧЕСКИЕ И ФИЛОСОФСКИЕ ПРОБЛЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Канд. техн. наук, доц. РЫНКЕВИЧ С. А.

Белорусско-Российский университет (г. Могилев)

Необходимость автоматизации технических объектов и ее проблемы. Автоматизация управления – одно из перспективных направлений совершенствования конструкций технических систем [1]. Она позволяет существенно повысить показатели эффективности и качества процессов функционирования объектов, обеспечить их высокую надежность и безопасность, что особенно актуально для объектов массового применения, эксплуатация которых связана с большими материальными затратами, повышенной опасностью для обслуживающего персонала и негативным влиянием на окружающую среду. К числу таких объектов относятся автотранспортные средства (АТС), самолеты, военная техника, различные станки и механизмы и т. д. [2, 3].

На указанных объектах с момента их появления началось и постоянно расширялось применение различных автоматических устройств, обеспечивающих необходимые режимы работы отдельных механизмов, систем и подсистем. Однако локальный характер решаемых этими устройствами задач и невозможность комплексного учета всего многообразия факторов, влияющих на процессы функционирования технического объекта (ТО) и работу его элементов, не позволяли в полной мере использовать потенциальные свойства ТО и обеспечивать эффективное управление им [1, 2]. Только с развитием и внедрением микроэлектроники появилась возможность решения этой проблемы. Комплекс микропроцессорных средств позволяет выполнять широкий спектр важнейших функций, необходимых для успешной работы автоматизированной системы, в их число входят: управление, регулирование, контроль, защита, безопасность, диагностирование, информация, комфорт, сервис и др.

Комплексная автоматизированная система нуждается в обширном объеме информации,

характеризующей работу всех механизмов и систем ТО и влияние многочисленных факторов внешней среды. Проектирование такой сложной системы возможно на основе математического моделирования с использованием методов теории автоматического управления, теории вероятностей, регрессионного и корреляционного анализа, теории графов, методов оптимизации [4].

В то же время бурное развитие автоматических устройств поставило перед проектировщиками множество проблем и задач как общетехнических, так и философских. Одна из главных технических проблем автоматизации заключается в том, что методы классической теории автоматического управления (КТАУ) и ее математический аппарат не предусматривают учет тех возможностей и особенностей, которыми характеризуется поведение человека. В сложных, нестандартных и опасных ситуациях человек в состоянии практически мгновенно принимать правильные решения и быстро ориентироваться при возникновении соответствующих обстоятельств [1]. Автоматическая же техническая система, функционирующая по алгоритмам, разработанным на основе методов КТАУ, не обеспечивает адекватной реакции в сложных и быстро меняющихся ситуациях. В результате эффективность автоматизации на научных принципах КТАУ оказывается чаще всего ниже ожидаемой.

Общефилософские вопросы в аспекте автоматизации. Интерес философии к управлению и автоматизации объясняется рядом причин. Прежде всего, местом и ролью управления в жизни как общества, так и отдельного индивида. Ведь управление – атрибут не только производства, оно представляет собой неотъемлемую часть любой человеческой деятельности, где требуется задействовать знания и способности людей. В философском аспекте под

управлением понимается информационно-энергетический процесс целенаправленного изменения субъектом состояния объекта. В нем нуждаются университеты и заводы, магазины и больницы, подвижные объекты и летательные аппараты, общество в целом. Управление – важнейшая часть человеческого бытия, без которой невозможна совместная деятельность людей. Значимость управления общепризнана в качестве одного из основных факторов социального прогресса. Современное управление является феноменом нового времени. Значимость философско-методологического анализа проблем управления обусловлена и тем, что управление, являясь синтезом науки и искусства, знания и опыта, представляет широкое исследовательское поле для изучения человека, понимания его природы в различных ситуациях.

Первичной функцией управления является принятие решений [5, 6]. Акт принятия решений – центральный момент любого процесса управления, присутствует во всех его функциях. Всякий процесс управления, таким образом, можно рассматривать как непрерывный процесс принятия решений.

В последние десятилетия самостоятельной научной дисциплиной стала теория принятия решений, которая рассматривает процессы управления сложными системами различной природы [6]. Место этой дисциплины в системе наук определить довольно-таки трудно. Возникла она вследствие экономических и политических потребностей, но сегодня ее уже нельзя отнести только к экономической или политической науке. Теория принятия решений берет свое начало с работ Дж. фон Неймана и О. Моргенштерна и ее становление не отделимо от развития компьютерной техники, формирования таких научных направлений, как исследование операций, системный анализ, проблемы искусственного интеллекта. Теория принятия решений активно использует методы философии, математики, психологии, информатики, в то же время она имеет ярко выраженную прикладную направленность.

Проблемы неопределенности в принятии решений. Основное, что характеризует проблемы, стоящие перед человеком XXI в., будь то политика, экономика, наука, – это сложность и неопределенность. Именно эти факторы по-

служили катализатором проведения современных исследований процессов принятия решений. С методологической точки зрения, теория управления интересна в плане использования современных математических методов для исследования деятельности практически действующего и познающего социального субъекта. Расширение круга вопросов человеческой практики, где математика может оказаться эффективной, часто тормозится рядом предубеждений. Так, люди, не владеющие математическими методами, иногда думают, что любая проблема может быть переведена на язык математики и, следовательно, решена ее средствами. Часто высказывается и противоположная точка зрения. Например, основатель кибернетики Н. Винер считал принцип неопределенности настолько существенной особенностью социальных систем, что, по его мнению, математический аппарат, разработанный для описания физических и даже биологических процессов, вообще не пригоден для социально-экономических объектов [7, 8].

Часто неопределенность отождествляют лишь с отсутствием полной информации о том или ином объекте. На самом деле, незнание состояний объекта, относительно которого принимается решение, не является единственной неопределенностью, обусловленной субъективными причинами. Наряду с этим можно назвать «неопределенность желаний», целей или критериев выбора решения. Действительно, во многих практических ситуациях сложность принимаемых решений определяется прежде всего двумя факторами: количеством альтернативных вариантов, а также числом и разнородностью критериев оценки этих вариантов. В слабоструктурируемых проблемах принятия решений, где качественные, плохо определенные факторы имеют тенденцию доминировать, критерии оценки альтернатив носят, как правило, субъективный характер в том смысле, что сам набор критериев может быть определен только на основании предположений лица, принимающего решения (ЛПР). Термин «слабоструктурируемые проблемы» (illstructured) был введен Нобелевским лауреатом Г. Саймоном. Представляется достаточно очевидным, что такой класс проблем охватывает широкий спектр реальных ситуаций.

В задачах принятия решений можно выделить несколько основных типов неопределенностей [9]:

- объективную («неопределенность природы»);
- вызванную отсутствием достаточной информации (гносеологическую);
- стратегическую, вызванную зависимостью от действий других субъектов управления (партнеров, противников, организаций и т. п.);
- порожденную слабоструктурируемыми проблемами;
- вызванную нечеткостью, расплывчатостью как процессов и явлений, так и информации, их описывающей.

При решении задач автоматизации управления ТО могут присутствовать несколько видов неопределенности. Эффективность поиска оптимальных решений существенно зависит от методов описания и анализа имеющейся в задаче неопределенности, насколько адекватно эти методы могут отразить реальную ситуацию [10, 11]. Исторически первыми появились вероятностно-статистические методы, и на сегодняшний день они являются наиболее развитыми. Эти методы описания и анализа неопределенности являются основой для принятия решений в условиях риска, а большинство задач, решаемых людьми как в деловой сфере, так и в обыденной жизни, имеют рискованный характер. Несмотря на развитие вероятностных методов, они не могут являться универсальным средством для описания всех типов неопределенностей в задачах принятия решений. Это относится, прежде всего, к слабоструктурируемым проблемам и задачам с нечеткой исходной информацией.

Рассмотрим подробнее тот тип неопределенности в задачах принятия решений, который связан с нечеткими, качественными (нежесткими, неточными, расплывчатыми) свойствами процессов и явлений [12]. Этот вид неопределенности характерен для экономических, социальных и других систем, в функционировании которых участвует человек. В таких системах часто имеет место ситуация, когда объекты исследования, условия задачи, цели не могут быть описаны точно. Неточность измерения и, как следствие, нечеткость описания реальных объектов являются естественными. Однако,

несмотря на такую нечеткость, в практических ситуациях обычно удается получить определенное представление об этих объектах и решать поставленные задачи. Например, следующие нечеткие утверждения: «*A* существенно меньше *B*» или «На фондовом рынке наблюдается значительный рост», – все же несут достаточную информацию.

Многочисленные исследования процессов принятия решений показывают, что человеку несвойственно мыслить и принимать решения только в «количественных» характеристиках. Он мыслит прежде всего «качественно», и для него поиск решений – прежде всего поиск замысла решения, и здесь количественные оценки играют вспомогательную роль. Формализация нечетких понятий – одна из главных задач, которую надо решать при разработке моделей принятия решений в сложных, неопределенных ситуациях. В свое время появление формальной логики было шагом вперед в борьбе с неопределенностью, расплывчатостью представления человеческих знаний. Логика была призвана исключить нестрогость, неоднозначность из рассуждений. Следующий этап в преодолении неопределенности, имеющей случайный характер, связан с теорией вероятностей. Затем возникла потребность в теории, позволяющей формально описывать нестрогие, нечеткие понятия и обеспечивающей возможность продвигаться в познании процессов принятия решений, содержащих такие понятия. Вопрос о том, как обрабатывать нечеткости, перекликается с вопросом о том, каким образом ввести в формальные модели управления субъективизм человека.

Теория нечетких множеств и нечеткая логика как средство при решении проблемы неопределенности. Принципиально новый шаг в развитии и применении методов принятия решений связан с появлением теории нечетких множеств. В 1965 г. в журнале «*Information and Control*» появилась статья Л. Заде «*Fuzzy Sets*» [13]. Название нового объекта было придумано самим автором. При переводе этого термина на другие языки возникло немало трудностей из-за неоднозначности слова «*fuzzy*». На русский язык, например, его переводили и как «нечеткий», и как «размытый», и как «расплывчатый», и даже как «неопределенный». Первый из

переводов со временем занял доминирующее положение в литературе, хотя встречаются и другие варианты.

Основная идея Л. Заде состояла в том, что человеческий способ рассуждений, опирающийся на естественный язык, не может быть описан в рамках традиционных математических формализмов. Этим формализмам присуща строгая однозначность интерпретации, а все, что связано с использованием естественного языка, имеет многозначную интерпретацию. Поэтому обычные количественные методы анализа не эффективны при анализе гуманитарных систем (термин Л. Заде), т. е. систем, в которых существенная роль принадлежит суждениям и знаниям. Как правило, такие системы являются слабоструктурируемыми и гораздо более сложны, чем механистические системы, поведение которых допускает численное описание. Л. Заде подчеркивает, что по мере возрастания сложности системы наша способность формулировать точные, содержащие смысл утверждения о ее поведении уменьшается вплоть до некоторого порога, за которым точность и смысл становятся взаимоисключающими. Этот принцип несовместимости связан со способом восприятия и рассуждений человека. В его основе лежат обобщенные, схематизированные, а, следовательно, неточные субъективные представления о реальности.

Фактически, была создана новая математическая дисциплина, в основе которой лежала не классическая теория множеств, а теория нечетких множеств. Последовательно проводя идею нечеткости, по мнению Л. Заде, можно создавать нечеткие аналоги основных математических понятий и необходимый формальный аппарат для моделирования человеческих рассуждений и способа решения задач.

В фундаменте теории Л. Заде лежит очевидный факт – субъективные представления о цели всегда нечетки. Но он делает и следующий шаг, полагая, что оценки и ограничения субъекта также, как правило, нечетки, а иногда и вообще лишены в своем начальном виде количественных характеристик. В качестве средства математического моделирования неопределенных понятий, которыми оперирует человек при описании своих представлений о какой-

то реальной системе, желаний, целей и т. п., – выступает нечеткое множество. В этом понятии учитывается возможность постепенного перехода от принадлежности к непринадлежности элемента множеству. Иными словами, элемент может иметь степень принадлежности множеству, промежуточную между полной принадлежностью и полной непринадлежностью.

В основу теории нечетких множеств Л. Заде положил обобщение понятия характеристической функции множества. Нечеткое множество A – совокупность упорядоченных пар $A = \{x, \chi_A(x)\}$, $x \in X$, где $X = \{x\}$ – множество объектов x .

Здесь $\chi_A \rightarrow \{0, 1\}$ – характеристическая функция, $\chi_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases}$

Было предложено вместо нее рассматривать функцию принадлежности $\mu_A: X \rightarrow [0, 1]$ нечеткого множества A . Нечеткое множество A в X есть совокупность упорядоченных пар:

$$A = \{x, \mu_A(x)\}, \quad \mu_A: X \rightarrow [0, 1].$$

Значение $\mu_A(x)$ для конкретного x называется степенью принадлежности этого элемента нечеткому множеству A . Например, если $\mu_A(x) = 1$, то это означает, что x определенно принадлежит A ; если $\mu_A(x) = 0$, то, следовательно, x определенно не принадлежит A ; если $\mu(x) = 0,4$, то это означает, что принадлежность множеству A определяется степенью 0,4. Затем с помощью функции принадлежности вводятся операции над нечеткими множествами [12–14].

При определении нечеткого множества непосредственно с помощью функции принадлежности появляются некоторые трудности в интерпретации степеней принадлежности элементов множеству. Это, в свою очередь, затрудняет моделирование субъективной информации с помощью нечетких множеств. В последние годы появились работы, в которых в основе определения нечеткого множества лежит понимание его как совокупности элементов, проявляющих (хотя и в различной степени) некоторое общее свойство. В рамках этого подхода функция принадлежности оказывается производным понятием.

Надо сказать, что программа построения нечеткой математики быстро нашла отклик среди ученых. Исследования стали развиваться в двух основных направлениях. Часть исследований устремилась «вширь», вводя в рассмотрение нечеткие обобщения таких фундаментальных понятий математики, как функция, отношение, предикат. Появились нечеткие уравнения и нечеткие интегралы, нечеткая логика и нечеткая топология и многие другие подобные области. Другие исследования устремились «вглубь». Их цель – выявление самой природы нечеткости, возможности ввести нечеткие объекты не только на основе нечетких множеств Л. Заде, но и каким-либо иным способом. Оба эти направления породили огромное количество работ.

Принципиальной особенностью, отличающей развитие теории нечетких множеств, является ее прикладная направленность. Основы такого подхода заложены работами Л. Заде, прагматической целью которого было создание аппарата, способного моделировать человеческие рассуждения и объяснять человеческие приемы принятия решений. Поскольку в реальных ситуациях принятия решений цели, ограничения, критерии в большей части субъективны и точно не определены, и при построении моделей принятия решений возникает необходимость использования нечеткой логики, нечетких множеств и отношений. Нечеткие отношения позволяют моделировать плавное, постепенное изменение свойств, а также неизвестные функциональные зависимости, выраженные в виде качественных связей. Нечеткие алгоритмы, допускающие использование нечетких инструкций, широко распространенных в различных сферах человеческой деятельности, позволяют описывать приближенные рассуждения и, следовательно, являются полезным инструментом для приближенного анализа таких систем и процессов принятия решений, которые слишком сложны для применения общепринятых количественных методов.

В простейшем случае принятие решений в нечетко определенной обстановке описывается следующей схемой. Множество допустимых выборов является нечетким множеством A в некотором полном классе выборов. Задана функция $f: X \rightarrow Y$, значение $f(x)$ которой описы-

вает результат выбора конкретного элемента из X без учета допустимости или недопустимости этого выбора. Цель принятия решения описывается нечетким множеством C в полном классе исходов Y . Решение задачи выполнения нечеткой цели определяется при этом как пересечение нечетких множеств выборов и цели. Иными словами, решение есть максимальное (по включению) нечеткое множество D в X , такое, что:

1. $D \subset A$ (допустимость решения);

2. $f(D) \subset C$ (выполнение нечеткой цели), где $f(D)$ – образ D при отображении f .

Это решение можно рассматривать как нечетко сформулированную инструкцию, исполнение которой обеспечивает выполнение нечетко поставленной цели. Нечеткость получаемого решения есть следствие нечеткости исходной задачи.

Широкие возможности для приближенного описания явлений, не поддающихся описанию в общепринятых количественных терминах, представляет лингвистическая переменная, которая отличается от числовой переменной тем, что ее значениями являются не числа, а слова или предложения в естественном или формальном языке. Например, характеристика возраста является лингвистической переменной, если принимает следующие значения: {очень молодой, молодой, вполне молодой, немолодой, старый, очень старый}, а не численные значения 15, 20, 40, 55, 65, 75 лет. Использование нечетких словесных понятий, которыми оперирует ЛПР, позволяет ввести в рассмотрение качественные описания и учесть неопределенность в задачах принятия решений, достигнуть более полного описания всех факторов, имеющих отношение к данной задаче и не поддающихся точному количественному описанию [15]. Лингвистический подход при построении моделей принятия решений позволяет использовать для описания проблемной ситуации приближенные, субъективные оценки ЛПР, выраженные с помощью нечетких понятий, отношений и высказываний профессионального языка. Этот подход дает возможность формализовать нечеткие описания с помощью нечетких множеств, лингвистических переменных и нечетких свидетельств и оперировать полученными формализованными объектами посредством аппарата нечетких множеств. С помощью лингвистиче-

ской переменной можно представлять решения задачи в виде как нечетких описаний с использованием понятий и отношений профессионального языка ЛПР, так и четких рекомендаций. Формализация нечетких понятий и отношений профессионального языка ЛПР обеспечивается введением понятий нечеткой и лингвистической переменных, нечеткого множества и отношения. Первые два обеспечивают переход от вербальных описаний задачи к числовым, другие два являются средством численного представления нечетких понятий и отношений.

Необходимость выхода автоматизации на новый уровень – уровень искусственного интеллекта и новых информационных технологий. Большая часть математического аппарата, применявшегося в теории решений, допускает обобщение на случай нечетких множеств и лингвистических переменных. Элементы нечеткой математики находят широкое применение в моделях принятия решений [14]. Благодаря нечеткой логике процесс автоматизации качественно изменился и вышел на новый уровень, поскольку появились новые методы обработки и анализа огромной информации, носящей как количественный, так и качественный характер. Появилась возможность реализовывать адаптивные алгоритмы при управлении объектами и их подсистемами, используя новую методологию [16]. Системы автоматического управления приобрели способность учитывать множество всевозможной информации, характеризующей различные ситуации, ограничения, внешнюю среду и управляющие воздействия оператора или водителя (рис. 1).

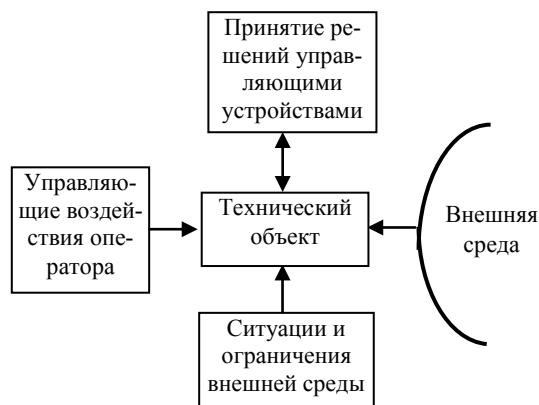


Рис. 1. Функциональная модель адаптивной системы управления автомобилем как техническим объектом

Сегодня активно развивается новое научное направление – искусственный интеллект (ИИ) и его применение на объектах технической и нетехнической природы. Использование теории и методов ИИ позволяет создавать так называемые интеллектуальные системы, т. е. системы, наделенные свойствами, в той или иной мере подобными мышлению и поведению человека [17, 18].

Теория нечетких множеств и нечеткая логика как одно из приложений ИИ стали использоваться при создании интеллектуальных систем управления многими техническими объектами, например автомобилями, их подсистемами и механизмами, а также при разработке новых технических решений [18–20]. Опыт ведущих автомобилестроительных фирм показывает, что вопросы автоматизации решаются путем создания адаптивных систем автоматизированного управления автомобилями и их механизмами, использующих новые методы приема, обработки и представления информации и нечеткую логику как направление ИИ [18].

Основанная на теории нечетких множеств новая методология построения компьютерных систем, а именно нечетких систем, существенно расширяет области применения компьютеров. Прикладные нечеткие системы являются одной из передовых технологий, в которых лидирует Япония [21, 22]. Нечеткие системы сегодня широко применяются как в промышленности, так и в медицине, экономике, а также криминалистике, маркетинге, страховании, обучении и других областях, где существенную роль играет субъективный опыт квалифицированных специалистов и экспертов.

Перевод условий практической задачи на язык математических моделей всегда был трудным и приводил подчас к потере трудноформализуемой качественной информации в исходных данных. До появления теории нечетких множеств большинство качественных характеристик и присущих им неопределенностей, если они не статистической природы, просто игнорировались. Обоснование своего подхода Л. Заде начал именно с противопоставления понятий «неточность» и «случайность». Он поставил под сомнение интуитивно принимаемое допущение, что неточность независимо от ее природы может быть отождеств-

лена со случайностью. По его мнению, следует различать случайность и нечеткость, так как именно нечеткость является основным источником неточности во многих процессах принятия решений. Под нечеткостью при этом понимается тот тип неточности, связанный с такими классами объектов, в которых нельзя указать определенную границу, отделяющую элементы, принадлежащие к данному классу, и элементы, ему не принадлежащие. Например, в класс мягких предметов входят предметы, мягкие в различной степени.

Как действуют в теории нечетких множеств? Определим нечеткое подмножество A множества Ω , приписывая каждому элементу значение функции принадлежности, например: $A = \{(a; 0,3), (b; 0,7), (c; 0), (d; 1)\}$, т. е. $\{d\}$ – определенно принадлежит A , $\{c\}$ – определенно не принадлежит, а элементы $\{a\}$ и $\{b\}$ принадлежат с некоторой степенью.

Принципиальное отличие между случайностью и нечеткостью заключается в том, что функция принадлежности, которая лежит в основе использования математического аппарата нечетких множеств, всегда является гипотезой. Она дает субъективное представление ЛПР об особенностях проблемной ситуации, характере целей и имеющихся ограничениях. Таким образом, эта форма утверждения гипотез открывает ЛПР новые возможности: позволяет строить оценки для альтернатив посредством формального аппарата. Затем в схемах анализа, использующих теорию нечетких множеств, так же как в традиционных методах, строится некоторая система гипотез, только теперь они формулируются в терминах «субъективной» принадлежности. В итоге анализа ЛПР получает результат, который также носит нечеткий характер.

Теория нечетких множеств не призвана конкурировать с теорией вероятностей и статистическими методами, она заполняет пробел в области структурируемой неопределенности там, где нельзя корректно применять статистику и вероятность. Методы, основанные на подходе Л. Заде, не могут дать окончательный критерий отбора, их задача – отбросить неконкурентоспособные, выделить наиболее перспективные. Подытоживая приведенные рассуждения, можно сказать, что использование

методов теории нечетких множеств, позволяет, подобно принципу Парето, «сжать» множество возможных альтернатив. Думается, что эта теория, развивающаяся по пути освоения субъективной информации и моделирования приближенных рассуждений человека, содержит в себе большой потенциал для применения в самых различных областях человеческой деятельности, в том числе при создании интеллектуальных систем управления.

ВЫВОДЫ

1. Ограничения классической теории автоматического управления и увеличение роли человеческого фактора при управлении диктуют необходимость применения новых подходов и теорий в решении проблемы автоматизации технических объектов.

2. Проблемы автоматизации объектов технической и другой природы, вовлечение человека в процессы управления, возрастание роли информационных технологий в автоматизации требуют философско-методологического анализа и осмысления.

3. В процессе автоматизации и принятия решений в управлении существует проблема неопределенности. Неопределенность бывает нескольких видов: объективная; гносеологическая; стратегическая, вызванная зависимостью от действий других субъектов управления; порожденная слабоструктурируемыми проблемами; вызванная нечеткостью, расплывчатостью процессов, явлений и информации.

4. Для решения проблем неопределенности в автоматизации технических объектов эффективна теория нечетких множеств и математический аппарат нечеткой логики. Эта же теория способна обеспечить выход автоматизации на новый уровень – уровень принятия решений по алгоритмам, подобным логике человеческого мышления.

5. Автоматизация на современном этапе развития техники должна осуществляться на качественно новом уровне, используя новейшие технологии и достижения человеческого разума, такие как искусственный интеллект, моделирование человеческих рассуждений и логики, процессов принятия решений. Развитие информационных технологий привело к тому,

что вопросы автоматизации и управления уже неразрывно связаны с компьютеризацией и информатизацией. Сложившаяся ситуация призывает ученых и специалистов решать как технические проблемы, так и проблемы философско-методологического характера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасик, В. П. Теоретические аспекты проблемы автоматизации автотранспортных средств / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич // Вестник МГТУ. Транспортные и строительные машины. – Могилев, 2001. – № 1. – С. 164–172.
2. Ксенович, И. П. Теория и проектирование автоматических систем / И. П. Ксенович, В. П. Тарасик. – М.: Машиностроение, 1996. – 480 с.
3. Тарасик, В. П. Проектирование колесных тягово-транспортных машин / В. П. Тарасик. – Минск: Вышэйш. шк., 1984. – 163 с.
4. Тарасик, В. П. Математическое моделирование технических систем / В. П. Тарасик. – Минск: ДизайнПРО, 2004. – 640 с.
5. Ларичев, О. И. Наука и искусство принятия решений / О. И. Ларичев. – М.: Наука, 1979. – 200 с.
6. Макаров, И. М. Теория выбора и принятия решений / И. М. Макаров. – М.: Наука, 1987. – 350 с.
7. Винер, Н. Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине / Н. Винер. – 2-е изд. – М., 1968. – 320 с.
8. Винер, Н. Кибернетика и общество / Н. Винер. – М., 1958. – 342 с.
9. Управление в условиях неопределенности / под ред. А. Е. Городецкого. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2002. – 398 с.
10. Анхимюк, В. Л. Теория автоматического управления / В. Л. Анхимюк, О. Ф. Опейко, Н. Н. Михеев. – Минск: ДизайнПРО, 2000. – 352 с.
11. Тарасик, В. П. Интеллектуальные системы управления автотранспортными средствами / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 510 с.
12. Заде, Л. А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений / Л. А. Заде // Математика сегодня. – М.: Знание, 1974. – С. 5–49.
13. Zadeh, L. A. Fuzzy Sets. – Information and Control. – 1965. – P. 338–353.
14. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / А. Н. Аверкин [и др.]; под ред. Д. А. Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 312 с.
15. Заде, Л. А. Понятие лингвистической переменной и его применение к приближенным вычислениям: пер. с англ. / Л. А. Заде. – М.: Мир, 1976. – 149 с.
16. Тарасик, В. П. Методология синтеза алгоритмов управления гидромеханической трансмиссией автомобиля на основе теории нечетких множеств / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич // Мехатроника. – 2001. – № 1. – С. 39–46.
17. Тарасик, В. П. Проблемы создания интеллектуальных систем управления автотранспортными средствами / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич // Вест. НАН РБ. Сер. Физ.-техн. наук. – 2001. – № 3. – С. 37–51.
18. Тарасик, В. П. Интеллектуальные системы управления ГМП / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич // Автомобильная промышленность. – 2003. – № 6. – С. 38–40; № 7. – С. 38–39.
19. Рынкевич, С. А. Создание систем распределенного микропроцессорного управления энергетическими режимами автомобилей / С. А. Рынкевич, В. П. Абрашкин // Интерстроймех-2002: сб. науч. тр. – Могилев, 2002. – С. 189–193.
20. Тарасик, В. П. Система автоматического управления скоростными и нагрузочными режимами автомобиля: патент 2010734 РФ / В. П. Тарасик, С. А. Рынкевич // Бюл. изобр. – 1994. – № 7.
21. Прикладные нечеткие системы; пер. с япон. / К. Асаи [и др.]; под ред. Т. Тэрано. – М.: Мир, 1993. – 368 с.
22. Поспелов, Д. А. Япония продолжает удивлять мир: искусственный интеллект в конце XXI века / Д. А. Поспелов // Новости искусственного интеллекта. – 1997. – № 2. – С. 51–73.

Поступила 24.02.2005