

Современные подходы к осмыслению ПОНЯТИЯ АВТОНОМНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.С. Королев, Д. В. Рязанов

Аннотация — Сейчас в разных областях деятельности человека приобретают актуальность так называемые автономные технические системы, способные обеспечивать управление с минимальным участием человека или без участия человека вообще.

При этом, в западных публикациях по-разному трактуется понятие автономной технической системы, способной самостоятельно принимать решения. Появляются жаргонные, с точки зрения инженерного сообщества, понятия «Autonomous», «Self-Driving», «Driverless», «Unmanned», «Robotic». В частности, использование термина «автономный» приводит к неоднозначности в осмыслении понятия «автономное транспортное средство», так как остается непонятным необходима ли такому транспортному средству для своего функционирования какая-либо коммуникация или кооперация с внешними сущностями.

Еще большие сложности появляются при переводе западных текстов или при изначальном написании русскоязычных текстов по этой тематике, так как разные англоязычные термины, в том числе приведенные выше, предстают в русских статьях в виде единого понятия «автономный».

Данная статья пытается обозначить ответы на следующие вопросы:

- Как в общепризнанных международных стандартах раскрывается понятие «автономность»?
- Какой базис закладывается в таксономию автономности и в чем измеряется автономность?
- Какие имеются варианты таксономии и в чем их обоснование?
- Какая связь между автономностью и интеллектом машины?
- Какая связь между автономностью и функциональными возможностями (capabilities), предоставляемых машиной?

Ключевые слова—автоматизация, автономный, беспилотный, транспортное средство.

I. ВВЕДЕНИЕ. ПОНЯТИЕ АВТОНОМНОСТИ

Стандарты и ссылающиеся на них статьи обычно различают понятия «автономность» и «автоматизация».

Во многих статьях, где обсуждаются автоматизированные и/или автономные системы и рассматриваются уровни автоматизации и автономности дается ссылка на рекомендации SAE J3016 Surface

Vehicle Recommended Practice [1]. В них описывается таксономия для систем автоматизации движения транспортных средств (motor vehicle driving automation systems), которые на постоянной основе реализуют часть или всю задачу «управления в реальном режиме времени» (dynamic driving task (DDT)). Уровни такой автоматизации варьируются, согласно этому документу, от «no driving automation (level 0)» до «full driving automation (level 5)». Также в этих рекомендациях делается попытка охарактеризовать «жаргонные», с точки зрения сообщества, понятия «Autonomous», «Self-Driving», «Driverless», «Unmanned», «Robotic».

В рекомендациях SAE показывается ретроспектива использования термина «автономный» от отражения характеристики соответствующей модели принятия решений в системе до охвата этим понятием полного функционала системы и превращения его в синоним слову «автоматический». Показывается, что использование термина «автономный» приводит к неоднозначности в осмыслении понятия «автономное транспортное средство», так как остается непонятным необходима ли такому транспортному средству для своего функционирования какая-либо коммуникация или кооперация с внешними сущностями. В бытовом понимании автономность могут относить к full driving automation (level 5), могут относить ко всем уровням driving automation, могут к уровням, начиная с 3-его (ADS определённого типа).

Кроме этого, «автономность» в разных источниках (обычно по социальным исследованиям) подразумевает «самоуправление на высоком уровне» (self-governance), что является недостижимым, в принципе, для ADS, поскольку они всегда функционируют по алгоритмам и командам, заложенным пользователем.

В свете сказанного выше рекомендации SAE, подчеркивая популярность термина «автономность», предлагают не использовать его для описания автоматизации движения (driving automation).

Однако, во многих работах используют этот термин. Например, в [2], которая ссылается на рекомендации международной организации морского судоходства – International Maritime Organization (IMO) [3], говорится, что термин «автономный корабль» характеризует судно, которое до определенной степени может функционировать в операционной среде независимо, без участия людей-операторов. В зависимости от того, сколько возможностей система может обеспечить без участия оператора, ее автономность относится к одному из предлагаемых авторами уровней (от 0 до 5).

Согласно рекомендациям SAE, значение термина

Статья получена 24 июня 2022.

Антон Сергеевич Королев, НИЯУ МИФИ (e-mail: askorolev@mephi.ru).

Денис Валерьевич Рязанов, НИЯУ МИФИ (e-mail: deniss.ryazanov@yandex.ru).

«Self-driving» может варьироваться в зависимости от предположений о значении понятий "вождение" и "водитель" (driving и driver). Тогда этот термин может использоваться для обозначения разных ситуаций:

- ситуаций, в которых отсутствует водитель;
- ситуаций, в которых пользователь не выполняет задачу управления движением в реальном времени – dynamic driving task (DDT);
- ситуаций, в которых система автоматизации вождения (driving automation system) выполняет любую часть задачи DDT.

Термины «Driverless» и «Unmanned», согласно рекомендациям SAE, часто неправильно употребляются для обозначения транспортного средства, оснащенного системой автоматизации вождения (driving automation system) второго уровня и выше (по шкале от 0 до 5). Так как слово «driver» может иметь разные значения, понятие «Driverless» может скорее ввести в заблуждение, чем прояснить ситуацию. Понятие «Unmanned» предполагает отсутствие человека в транспортном средстве, что также не до конца может прояснять ситуацию, так как не предполагает разницы между транспортным средством, управляемым человеком удаленно, и транспортным средством, управляемым системой ADS, в котором отсутствуют люди, имеющие возможность управлять (operate) им.

В [2] «судно без человеческого участия» («unmanned ship») характеризует корабль без команды людей, который должен обладать необходимой степенью автономности, когда потеряна связь с удаленным центром управления. «Туманной», как замечено в рекомендациях SAE, выглядит ситуация в материале [5], где в названии присутствуют понятия и «автономность» и «unmanned». Предлагается описание автономности с помощью понятий «автоматизации» и «интеллекта». Под понятием «unmanned system» подразумевается «умная» система, которая выполняет задачи от лица и в пользу людей.

Термин «Robotic», согласно SAE, иногда используется для ассоциации с уровнями автоматизации (driving automation) 4 и 5, но он является несколько нечетким с технической точки зрения, потому что любая технология автоматизации может рассматриваться как Robotic, и этот термин не несет никакой дополнительной информации относительно ADS или транспортного средства.

Руководство SAE не рекомендует применять термины, предполагающие в качестве объекта автоматизации машины (vehicles), а не процесс вождения (driving), так как это ведет к противоречиям при рассмотрении машин, которые могут управляться людьми (operated by a human/driver) и машин, которые были созданы исключительно для управления автоматическими системами управления (ADS и ADS-DVs).

Для описания транспортного средства с возможностью автоматизации вождения рекомендуется использовать фразы «транспортное средство уровня [напр., 1 или 2], оснащенное системой автоматизации

вождения» или «транспортное средство уровня [3, 4 или 5], оснащенное системой ADS».

Рекомендуемое использование для описания транспортного средства с встроенной (в отличие от просто доступной) системой автоматизации вождения является «транспортное средство с встроенной системой автоматизации движения уровня [1 или 2]» или «транспортное средство с системой ADS уровня [3, 4 или 5]».

Термин «автоматизация» используется для характеристики возможностей системы управления реализовывать те функции, которые до этого реализовывались человеком [8]. Таким образом, автоматизация является необходимой для реализации автономности, но при этом сама по себе автоматизация не приводит к автономности.

Степень или уровень автономности зависит от имеющихся у системы возможностей, которые могут находиться в широком диапазоне – от интегрированной системы автоматических сенсоров до управляемого компьютером процесса принятия решений. В этом диапазоне будут находиться и возможности, предоставляемые автоматизацией. Следовательно, надо различать уровни автоматизации и уровни автономности.

В статье [6] проводится подробная дифференциация понятий автономность и автоматизация в контексте IAMR (промышленных автономных мобильных роботов), к числу которых также относится MASS (Морское автономное надводное судно). Обосновывается необходимость использования концепции автономности. Объектами исследований и сравнения являются 4 системы: автопилот корабля, автоматически управляемый мобильный робот, автономный карьерный самосвал, сухогруз MUNIN.

Задаются несколько наиболее известных определений автономного морского судна с точек зрения классификационных обществ (DNV GL, Class NK), международной морской организации (IMO), международной организации по стандартизации (ISO) и NFAS. Например: «Мы определяем промышленную автономную систему как автономный модуль или совокупность таковых, который может безопасно и эффективно функционировать в фактически существующей окружающей среде. При этом функционирование такой системы несет за собой прямую коммерческую ценность, и такие системы могут производиться, обслуживаться, разворачиваться, использоваться и утилизироваться с приемлемыми по отношению к этой ценности расходами» [6]. Специфика, по мнению авторов, делается именно на промышленные системы, особенность которых состоит в том, чтобы создавать коммерческую ценность, а также работа в операционной среде в условиях рисков.

В статье, ссылаясь на SAE, упоминается, что ряд инженерных ассоциаций не признает и пытается отменить (depreciate) понятие «автономность». При этом авторы считают, что понятие «автономное морское судно» имеет право на существование. Трудно, по мнению авторов, провести четкую границу между

автономным и автоматическим, т.к. «Ни общество или отдельный организм, ни инженерная система не являются полностью свободными от внешнего контроля любого типа... Особенно для IAMR, нет никакого смысла в создании абсолютно автономной системы, которая не подчиняется приказам или планам выполнения миссии».

II. УРОВНИ АВТОНОМНОСТИ

В рассматриваемых источниках приводятся различные градации уровней автономности, описывающие состояние объекта от полного отсутствия автономии до полного отсутствия деятельности человека в управлении.

В рекомендациях SAE [1] описываются 6 уровней автоматизации процесса управления движением (levels of driving automation). Описывающая их сводная таблица выглядит следующим образом (Таблица 1).

Таблица 1 – Уровни автоматизации согласно SAE J3016

Level	Name	Narrative definition	DDT			ODD
			Sustained lateral and longitudinal vehicle motion control	OEDR	DDT fallback	
Driver performs part or all of the DDT						
0	No Driving Automation	The performance by the driver of the entire DDT, even when enhanced by active safety systems.	Drive	Driver	Driver	n/a
1	Driver Assistance	The sustained and ODD-specific execution by a driving automation system of either the lateral or the longitudinal vehicle motion control subtask of the DDT (but not both simultaneously) with the expectation that the driver performs the remainder of the DDT.	Driver and System	Driver	Driver	Limited
2	Partial Driving Automation	The sustained and ODD-specific execution by a driving automation system of both the lateral and longitudinal vehicle motion control subtasks of the DDT with the expectation that the driver completes the OEDR subtask and supervises the driving automation system.	System	Driver	Driver	Limited
ADS ("System") performs the entire DDT (while engaged)						
3	Conditional Driving Automation	The sustained and ODD-specific performance by an ADS of the entire DDT with the expectation that the DDT fallback-ready user is receptive to ADS-issued requests to intervene, as well as to DDT performance-relevant system failures in other vehicle systems, and will respond appropriately.	System	System	Fallback-ready user (becomes the driver during fallback)	Limited
4	High Driving Automation	The sustained and ODD-specific performance by an ADS of the entire DDT and DDT fallback without any expectation that a user will respond to a request to intervene.	System	System	System	Limited
5	Full Driving Automation	The sustained and unconditional (i.e., not ODD-specific) performance by an ADS of the entire DDT and DDT fallback without any expectation that a user will respond to a request to intervene.	System	System	System	Unlimited

Большинство статей, представляющих в качестве объектов исследования механизированные передвижные механизмы и рассматривающих их уровни автономности, ссылаются на рекомендации SAE, в том числе на приведенную выше таблицу.

Например, в материале [4] объектом исследований являются сельскохозяйственные машины и уровни их автономности. Говорится о недостаточности рекомендаций J3016 от SAE из-за операционной специфики с/х машин. Предлагаемая классификация уровней автономности ALAAM (autonomy levels for autonomous agricultural machinery) модифицирует руководство SAE и описывает 6 уровней (0-5). Ядро классификации основано на отношении ролей оператора и автономной системы для автоматизации деятельности с/х машин.

Предлагается контекстная схема автономной системы для с/х автоматизации, включающая блок входной информации, систему управления движением, систему с/х операций, систему динамической обратной связи.

Классификация уровней автономности носит матричный характер (Таблица 2), где по строкам

автономная технология (движение, операции, планирование задач и т.п.), по столбцам - уровни автономности от 0 (полностью ручной) до 5 (полностью автоматический). В ячейках помещается 3 типа пиктограмм - человек, человек-машина, машина. Таким образом, нахождение на определенном уровне автономности зависит от типов задач, решаемых полностью человеком, человеком совместно с машиной и полностью машиной.

Таблица 2 – Классификация уровней автономности ALAAM

Autonomous technology	Level classifications					
	Level 0. Manual	Level 1. Operator assistance	Level 2. Partially automation	Level 3. Conditional automation	Level 4. High automation	Level 5. Full automation
Straight & curve path driving						
Path & implement operation						
Operation & environmental awareness						
Error response						
Task area planning						

В статье [5] берется за основу шкала автономности беспилотных систем, установленная рабочей группы Autonomy Levels for Unmanned Systems (ALFUS) из National Institute of Standards and Technology (NIST), и делается попытка количественной оценки критерия автономности. Предложены следующие методы такой оценки: метод оценки уровня, двухосный метод, трехосный метод, модель оценки паутины, метод нечеткой оценки, метод поиска в таблице и метод формулы. Более детально в одноименных блоках описаны метод оценки уровня, двухосный и трехосный методы и метод нечеткой оценки.

Описан новый метод оценки автономности морского беспилотного летательного аппарата (МБЛА) с двумя ключевыми аспектами: определение системы показателей автономности МБЛА и определение весового значения каждого оценочного фактора. Приведена таблица оценочных факторов с четырьмя уровнями показателей и таблица с десятью уровнями автономности МБЛА. Достижение техническим средством того или иного уровня автономности зависит от количественного показателя оценки (напр., для уровня 10, Таблица 3).

Таблица 3 – Вырезка из классификатора с уровнями автономности МБЛА

Autonomy level	MC	EC	HI	Score interval
10	Fleet synergy, total real-time planning, and the highest level of situational awareness capability.	Environments are very restrictive; dynamic environments with great uncertainty and mechanical limitations; the highest levels of environmental awareness capability.	Complete the task independently without human intervention.	[0.95, 1]

Характеристики mission complexity (MC), environmental complexity (EC) и human-machine interaction (HI) взяты из фреймворка ALFUS и включены в качестве параметров в систему расчета. Каждый из них носит комплексный характер и зависит от ряда других

показателей. Пример для mission complexity (MC) приведен в Таблице 4.

В материале [6] уровни автономности классифицируются согласно ряду квалифицирующих факторов, таких как: необходимость присутствия человека (attendance), количество функций, которые могут работать автономно, этапы миссии, не требующие прямого участия человека, воспринимаемость окружающей среды системой, сложность окружающей среды, планирование, наличие когнитивных функций, наличие искусственного интеллекта, обучаемость.

Таблица 4 – Пример описания характеристик для определения уровней автономности из фреймворка ALFUS

Level I indicator	Level II indicator	Level III indicator	Level IV indicator
Mission Complexity	Mission and tactical behavior	task type	task involvement rate
			Number of unmanned platforms to participate in missions
		task complexity	Subtask involvement rate
			Task execution time and spatial resolution
			Threat level
			Task and target change rate
			Military knowledge requirements
			Task re-planning capabilities
	Planning and decision-making capability	Task planning capabilities	Formation mission planning capability
			Global path planning capacity
		Path planning capacity	Local path planning capacity
			Formation multi-target path planning capability
		Fault Diagnosis and repair capability	Real-time status monitoring capabilities
			Fault self-diagnosis capability
			Faults tolerant capability
			Fault self-repair capability
	Perception capability	Situation awareness capability	Self-perception capability
			External perception capability
		Environment awareness capability	Natural environment perception capability
			Collision avoidance perception capability
		Fusion capability	Sensor fusion capabilities
			Data fusion capabilities
			Information fusion capabilities
			Collaborative task level
	Collaboration capabilities	Collaborative target search capability	N/A
		Collaborative target allocation capability	N/A
		Information sharing capabilities	N/A

Представлены таблицы, описывающие уровни автономности всех четырех систем согласно вышеупомянутым факторам. Пример такой таблицы для фактора искусственного интеллекта приведен ниже (Таблица 5).

Таблица 5 – Пример классифицирующих факторов для определения автономности

	Autopilot	AGV	Mining truck	MUNIN
AI	Yes	No	(Yes)	(Yes)
Learning	Yes	No	No	No

В статье [9] предлагается описание уровней автономности хирургических медицинских роботов в зависимости от степени вмешательства человека в операционную деятельность. Как таковые отсылки на стандарты и фреймворки автономности отсутствуют. В статье описывается настраиваемый фреймворк, который подразумевает шесть возможных уровней автономности, начиная от полного вмешательства человека в процесс операции, до его полного отсутствия. Оценочно, сейчас в части процессов применим третий уровень. Одним из ключевых аспектов с первого по четвертый уровень является то, что лечащий врач в значительной степени контролирует ситуацию, а роботизированное устройство делает то, что приказывает хирург. В зависимости от уровня увеличивается лишь степень автономности робота. В статье представлена схема (рис. 1), которая подробно описывает роль человека и робота на каждом из уровней.

Описано, что, как и для других отраслей, при увеличении степени автономности могут возникать все больше различных проблем с нормативными документами и внедрением при легализации большего спектра действий и свободы для хирургических роботов. С увеличением сложности роботов их стоимость возрастает непропорционально и время вывода на рынок значительно увеличивается, что является достаточно глобальной проблемой. Основной особенностью считается, что, в отличие от автомобильной автономии, в медицинской отрасли невозможно описать весь спектр задач, технологий, рисков и окружающих сред.



Рис. 1. Пример классификации автономности для медицинских роботов

В статье [10] основным объектом исследований являются фреймворк TAEV для описания самоконфигурируемых робототехнических систем. Их основными факторами являются многофункциональность, эволюционируемость и живучесть (multiability, evolvability, and survivability), что приводит к адаптивности и повышению надежности. Описываемые самоконфигурируемые роботы, могут быть применимы под различные нетиповые ситуации за счет автономной модульности. Представлены различные классификации самоконфигурируемых роботов: external, mobile and coordinated; micro, mini, macro; Mobile Configuration Change (MCC), Whole Body Locomotion (WBL). Фреймворк предлагает систему триады, в которой оси представляют собой категории взаимоконфигурируемости, возможности внутренней конфигурации, уровней автономности, значение которых зависят от степени «зрелости» самоконфигурируемых роботов (рис. 2). Самоконфигурируемые роботы смогут изменять свою морфологию в соответствии с предписанными требованиями или могут быть адаптированы к окружающей среде с предоставленным уровнем автономности.

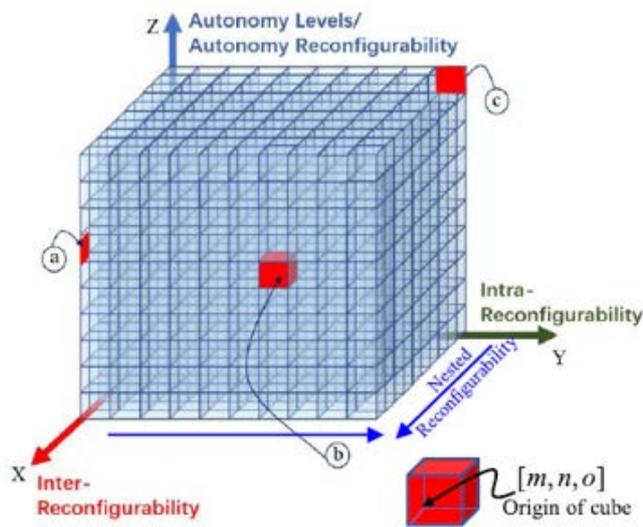


Рис. 2. Фреймворк TAEV для описания самоконфигурируемых робототехнических систем

Основными отличительными чертами для определения уровня зрелости самоконфигурируемой системы являются факторы: sense environment, plan configuration, act of execute reconfiguration, которые выполняются человеком, роботом или на совместной основе в зависимости от уровня зрелости автономной системы. На основе этих факторов выделяется 10 основных уровней зрелости автономной системы, описанных в Таблице 6.

Таблица 6 – Уровни зрелости автономной системы

Autonomy Reconfigurability	Level	Functions			Description
		Sense	Plan	Act	
Manual teleoperated reconfiguration	0	M	M	M	The task including sensing the environment and monitoring the system, generating plans/options/goals, and implementation are performed manually.
Pre-defined reconfiguration pattern	1	M/R	M/R	M/R	The human is assisted by the robot to determine the reconfiguration options. However, human carries sensing and planning. The robot then implements the reconfiguration that the human chooses.
Teleoperation assisted by reconfiguration	2	M/R	M/R	M/R	Human intervention is there in selecting the reconfiguration option suggested by the robot during operating it remotely.
Task intervention by reconfiguration	3	M/R	M/R	R	The robot senses the surrounding and decides to involve in the task in the way of reconfigurations.
Reconfiguration decision Support	4	M/R	R	R	Both the robot and human sense the environment and plan for reconfiguration. Whereas, the task is selected manually and command to implement it is given to robot.
Shared control of reconfiguration with human initiative	5	M/R	R	R	The robot does all aspects of the task. Whereas, the human may intervene and influence the robot's progress in reconfiguration.
Shared control of reconfiguration with robot initiative	6	M/R	M/R	R	The robot performs all part of assignment. In case the robot encounters difficulties, the manual intervention prompts for setting new configurations.
Supervisory control of reconfiguration	7	M/R	R	M/R	The robot performs all parts of the assignment, but manual override option is available in setting new configurations.
Executive control of reconfiguration	8	R	M/R	R	The human may give a set goal. The robot sense, plan and implement reconfiguration autonomously.
Fully autonomous reconfigurability	9	R	R	R	All aspects of the task are performed by the robot without any human intervention.
Collaborative reconfigurability	10	R	R	R	The robot not only can perform tasks on its own but also can collaborate and help human using reconfiguration.

M: Manual or human R: Robot, Sense: Sense environment, Plan: plan configuration, Act: Act of execute reconfiguration

На уровне 0 - это всего лишь инструмент, предоставленный человеку. Механизм реконфигурации на данном уровне предоставляется людям для удаленного выбора конфигурации для преобразования, у робота нет абсолютно никаких автономно реконфигурируемых возможностей. Робот с нулевой реконфигурируемостью автономности может быть системой с высокой степенью реконфигурируемости механизмов, может иметь множество возможных конфигураций, но полностью полагается на ручное управление. На максимальном уровне робот должен не только иметь возможность выполнять задачи самостоятельно, но также может сотрудничать и помогать человеку, используя реконфигурацию естественным образом. В текущий момент времени считается достигнутым лишь шестой уровень данного ранжированного списка. На данном уровне робот самостоятельно выполняет всю часть задания. В случае, если он сталкивается с трудностями, за счет ручного

вмешательства может быть установлена новая конфигурация.

III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье были приведены основные современные подходы, описывающие классификации уровней автономности в различных сложных технических системах. Приведены основные стандарты описания уровней автономности, на основании которых строится большое количество фреймворков описания автономности. Выявлены корреляционные особенности в зависимости от уровня автономности и интеллекта технического средства. Рассмотрены различные структуры ранжирования уровней автономности: матричные, иерархичные, смешанные. Описаны текущие, предельные и достигаемые на данный момент состояния автономности относительно различных технических средств.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] SAE J3016 (2016): Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems, Revision September 2016, SAE International.
- [2] Ørnulf Jan RØDSETH. Defining ship autonomy by characteristic factors// Proceedings of the 1st International Conference on Maritime Autonomous Surface Ships. – 2018.
- [3] ISO, Regulatory Scoping Exercise for the Use of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS), Proposal for a classification scheme for degrees of autonomy, IMO Document MSC 100/5/1, August 2018.
- [4] Kyu-Chul Nam1, Yong-Joo Kim, Hak-Jin Kim, Chan-Woo Jeon4, Wan-Soo Kim. A study on autonomy level classification for self-propelled agricultural machines//Korean Journal of Agricultural Science 48(3) September 2021. Pp 617-627.
- [5] Lei Shi, Jiabin Chen, Jiexin Hu, Huiling Chen, Qiang Ma, Ya Guo. An Evaluation Method of Autonomy for Marine Unmanned Vehicles//2020 IEEE 9th Data Driven Control and Learning Systems Conference November 20-22, 2020, Liuzhou, China, pp. 99-104.
- [6] Ørnulf Jan Rødseth1 and Marialena Vagia. A taxonomy for autonomy in industrial autonomous mobile robots including autonomous merchant ships// The 3rd International Conference on Maritime Autonomous Surface Ship (ICMASS 2020). IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 929 (2020) 012003.
- [7] Grøtli, E.L., Reinen, T.A., Grythe, K., Transeth, A.A., Vagia, M., Bjerkeng, M.C., Rundtop, P., Svendsen, E., Rødseth, Ø .J. and Eidnes, G., 2015. SEATONOMY Design, development and validation of marine autonomous systems and operations.
- [8] Parasuraman, R. and Riley, V., 1997. Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. Human factors, 39(2), pp.230-253.
- [9] Medical robotics—Regulatory, ethical, and legal considerations for increasing levels of autonomy.
- [10] Ning Tan Abdullah Aamir Hayat, Mohan Rajesh Elara, Kristin L. Wood. A Framework for Taxonomy and Evaluation of Self-Reconfigurable Robotic Systems // Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2020.2965327, 2020.

Modern approaches to understanding the autonomy of technical systems

A.S. Korolev, D.V. Ryazanov

Abstract — Now, in various fields of human activity, so-called autonomous technical systems are becoming relevant, capable of providing management with minimal human participation or without human participation at all.

At the same time, some publications interpret the concept of an autonomous technical system capable of making decisions independently in different ways. There are "jargon", from the point of view of the engineering community, the concepts of "Autonomous", "Self-Driving", "Driverless", "Unmanned", "Robotic". In particular, the use of the term "autonomous" leads to ambiguity in the understanding of the concept of "autonomous vehicle", since it remains unclear whether such a vehicle needs any communication or cooperation with external entities for its functioning.

Even greater difficulties arise when translating Western texts or when initially writing Russian-language texts on this topic, since various English-language terms, including those listed above, appear in Russian articles in the form of a single concept of "autonomous".

This article tries to identify the answers to the following questions:

- How is the concept of "autonomy" revealed in generally recognized international standards?
- What basis is laid in the taxonomy of autonomy and how is autonomy measured?
- What taxonomy options are available and what is their rationale?
- What is the connection between autonomy and machine intelligence?
- What is the relationship between autonomy and the capabilities provided by the machine?

Keywords — autonomy, robots, frameworks, levels of autonomy.

REFERENCES

- [1] SAE J3016 (2016): Taxonomy and definitions for terms related to on-road motor vehicle automated driving systems, Revision September 2016, SAE International.
- [2] Ørnulf Jan RØDSETH. Defining ship autonomy by characteristic factors// Proceedings of the 1st International Conference on Maritime Autonomous Surface Ships. – 2018.
- [3] ISO, Regulatory Scoping Exercise for the Use of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS), Proposal for a classification scheme for degrees of autonomy, IMO Document MSC 100/5/1, August 2018.
- [4] Kyu-Chul Nam¹, Yong-Joo Kim, Hak-Jin Kim, Chan-Woo Jeon⁴, Wan-Soo Kim. A study on autonomy level classification for self-propelled agricultural machines//Korean Journal of Agricultural Science 48(3) September 2021. Pp 617-627.
- [5] Lei Shi, Jiabin Chen, Jiexin Hu, Huiling Chen, Qiang Ma, Ya Guo. An Evaluation Method of Autonomy for Marine Unmanned Vehicles//2020 IEEE 9th Data Driven Control and Learning Systems Conference November 20-22, 2020, Liuzhou, China, pp. 99-104.
- [6] Ørnulf Jan Rødseth¹ and Marialena Vagia. A taxonomy for autonomy in industrial autonomous mobile robots including autonomous merchant ships// The 3rd International Conference on Maritime Autonomous Surface Ship (ICMASS 2020). IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 929 (2020) 012003.
- [7] Grøtli, E.L., Reinen, T.A., Grythe, K., Transeth, A.A., Vagia, M., Bjerkgeng, M.C., Rundtop, P., Svendsen, E., Rødseth, Ø .J. and Eidnes, G., 2015. SEATONOMY Design, development and validation of marine autonomous systems and operations.
- [8] Parasuraman, R. and Riley, V., 1997. Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. Human factors, 39(2), pp.230-253.
- [9] Medical robotics—Regulatory, ethical, and legal considerations for increasing levels of autonomy.
- [10] Ning Tan Abdullah Aamir Hayat, Mohan Rajesh Elara, Kristin L. Wood. A Framework for Taxonomy and Evaluation of Self-Reconfigurable Robotic Systems // Digital Object Identifier 10.1109/ACCESS.2020.2965327, 2020.