

DOI 10.15593/2224-9354/2018.3.20

УДК 338.31:621.865.8

Е.В. Долгова, Д.С. Курушин, Р.А. Файзрахманов, Е.Е. Васильева

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ

Актуализирована проблема формирования оценки экономической эффективности в рамках технико-экономического обоснования разработки интеллектуальных систем управления робототехникой, обусловленная невозможностью выделения элементов предыдущей системы, которые были усовершенствованы, так как предыдущая система управления принципиально не являлась системой искусственного интеллекта, а также вероятностным или неопределенным характером последствий применения искусственного интеллекта, так как с возрастанием «интеллектуальности» системы в ней проявляются черты, свойственные активным системам с участием человека.

Предложена авторская методика оценки эффективности автоматизированной системы управления автономным многофункциональным робототехническим комплексом на основе искусственного интеллекта.

Методика представляет собой оценку снижения технико-экономических и социальных потерь при работе многофункционального робототехнического комплекса (МРК) на основе систем искусственного интеллекта. В составе потерь учитываются: 1) потери, связанные с наличием некомпенсированного вреда от агрессивных техногенных образований и уменьшением пользы от доброкачественных техногенных объектов, вызванных несовершенством системы управления; 2) потери, связанные с возможной утратой МРК в результате агрессивного воздействия внешней среды техногенных образований; 3) потери, связанные с возможным повреждением МРК в результате агрессивного воздействия внешней среды техногенных образований; 4) потери, связанные с повышенным расходом топлива или электроэнергии вследствие неоптимально проложенного курса. Экономическая эффективность применения автономного МРК на базе системы управления с искусственным интеллектом по отношению к традиционным дистанционно управляемым МРК представляет собой сумму экономии, достигаемую за счет сокращения перечисленных выше основных видов потерь.

Ключевые слова: экономическая эффективность, оценка эффективности, технико-экономическое обоснование, робот, искусственный интеллект, автоматизированная система управления.

© Долгова Е.В., Курушин Д.С., Файзрахманов Р.А., Васильева Е.Е., 2018

Долгова Елена Владимировна – д-р экон. наук, профессор кафедры «Информационные технологии и информационные системы» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», e-mail: shagrata@mail.ru.

Курушин Даниил Сергеевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Информационные технологии и информационные системы» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», e-mail: dan973@yandex.ru.

Файзрахманов Рустам Абубакирович – д-р экон. наук, завкафедрой «Информационные технологии и информационные системы» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», e-mail: fayzrakhmanov@gmail.com.

Васильева Екатерина Елисеевна – ст. преподаватель кафедры «Экономика и финансы» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», e-mail: VasilevaEE@list.ru.

Введение. Искусственный интеллект является актуальным и быстро развивающимся направлением в научной, производственной и многих других сферах человеческой деятельности. Исследователями рассматриваются философские предпосылки, состояние и перспективы исследований проблемы искусственного интеллекта [1, 2], возможности его использования в военном деле [3], при создании когнитивного государственного правительства [4] и во многих других областях человеческой деятельности. Однако, несмотря на значительное количество работ, посвященных данной тематике, вопрос оценки экономической эффективности применения систем управления робототехникой на основе искусственного интеллекта, имеющего высокую научно-практическую значимость, остается недостаточно освещенным.

Результаты. Оценка экономической эффективности должна проводиться в соответствии с требованиями к содержанию технико-экономического обоснования создания АСУ, изложенных в ГОСТ 202.24–80 [5]. Указанным стандартом предусмотрена необходимость раскрытия следующих аспектов вновь создаваемых АСУ:

- перечень основных источников экономической эффективности, получаемых в результате создания АСУ (в том числе экономия производственных ресурсов, улучшение качества продукции, повышение производительности труда и т.д.) и оценка ожидаемых изменений основных технико-экономических и социальных показателей производственно-хозяйственной деятельности объекта;
- оценка ожидаемых затрат на создание АСУ с распределением их по очередям создания АСУ и по годам;
- ожидаемые обобщающие показатели экономической эффективности АСУ.

В соответствии с логикой указанного документа и современными бизнес-представлениями об эффективности деятельности [6, 7] под экономической эффективностью АСУ (R) понимаем соотношение оценки ожидаемых изменений в деятельности объекта (P) к оценке ожидаемых затрат на создание АСУ (C):

$$R = P / C. \quad (1)$$

Оценка ожидаемых затрат может быть определена как сумма предстоящих расходов по созданию АСУ. Решение этой задачи не представляет значительной теоретической и практической сложности, в то время как оценка ожидаемых изменений основных технико-экономических и социальных показателей экономической деятельности субъекта, использующего робототехнику на основе искусственного интеллекта, вызывает определенные трудности, обусловленные следующими факторами:

1. Сложность выделения элементов предыдущей системы управления, которые были усовершенствованы, так как она принципиально не являлась системой ИИ.

2. Вероятностным или неопределенным характером последствий применения ИИ, так как, чем более система интеллектуальна, тем сильнее проявляются в ней те черты, которые свойственны активным системам с участием человека.

Влияние вышеуказанных факторов можно преодолеть за счет корректного анализа предполагаемых результатов работы системы, применяющей ИИ, с учетом характера ее базы знаний и имеющейся предметной области [8], а также формального представления среды функционирования роботов [9].

Рассмотрим решение проблемы оценки экономической эффективности применения системы управления на базе искусственного интеллекта на примере технико-экономического обоснования разработки многофункционального робототехнического комплекса (МРК), предназначенного для мониторинга техногенных образований в условиях возможного влияния экстремальной внешней среды, в том числе потенциально опасных для человека факторов [10, 16].

Разработанный МРК решает широкий спектр задач по ликвидации последствий катастроф техногенной природы, исследования местности, в частности [11–14]:

- 1) исследование инженерного оборудования в области действия МРК;
- 2) выявление мест расположения, характер и типы заграждений и разрушений;
- 3) исследование свойств местности: наличия и состояние дорог, мостов и возможность их использования; проходимости местности вне дорог для гражданской и специальной техники с учетом климатических и погодных условий; характера водных преград и других препятствий, способов их преодоления;
- 4) установление места и характера пожаров, завалов и разрушений, образовавшихся в результате техногенных и иных катастроф;
- 5) установление наличия и состояние источников воды, местных средств и строительных материалов;
- 6) выполнение сложных технологических операций (сборка, стыковка, перемещение предметов в пространстве и т.д.).

Традиционная практика решения указанных задач, как правило, не предусматривает использование автономного МРК и сводится к применению неавтономных и полуавтономных дистанционно управляемых комплексов. Система управления подобными комплексами представлена на рис. 1.

В соответствии со схемой на рис. 1 неавтономный и полуавтономный МРК через систему датчиков получает информацию о техногенном образовании, а также подвергается его непосредственному воздействию за счет механических и иных органов управления. Обработанная (иногда интегрированная) информация о среде передается человеку-оператору, который принимает решение и формирует управляющее воздействие на МРК: корректирует курс и задействует органы управления МРК. В системе опционально присутствует система управления

МРК, которая работает без вмешательства человека-оператора и обеспечивает элементарное управление составляющими системы: стабилизацию положения в пространстве, частичное определение траектории движения, простую фокусировку камеры, поддержание канала связи. Таким образом, основная интеллектуальная составляющая принятия решений в такой системе в основном отнесена к компетенции человека-оператора. К этой сфере относятся:

- определение цели работы системы и траектории перемещения МРК;
- распознавание и оценка обнаруженных МРК объектов и ситуаций;
- оценка рисков и формирование управляющих воздействий в режиме реального времени;
- принятие решений, оптимизирующих критерии функционирования системы, включая нечеткие и вербально заданные.

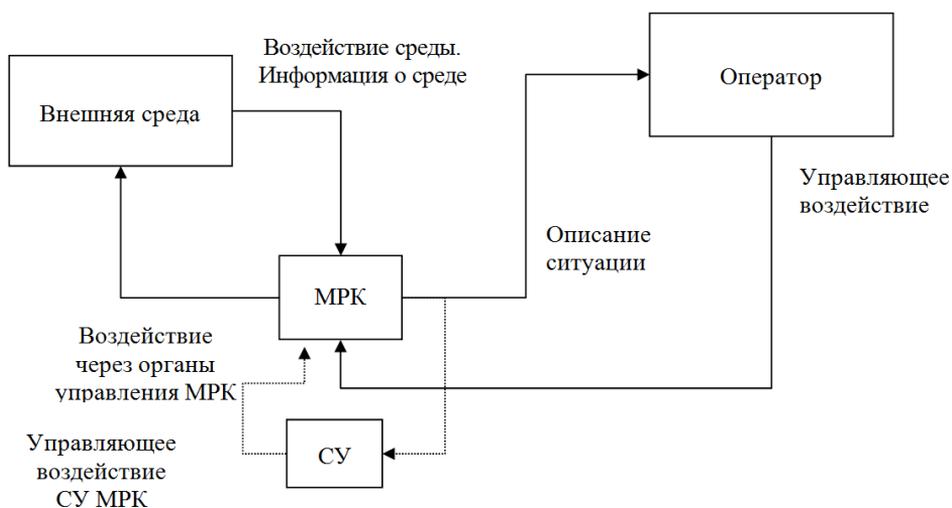


Рис. 1. Система управления неавтономным и полуавтономным дистанционно управляемым МРК

Недостатки подобной системы управления определяются в основном следующими факторами:

- 1) значительная зависимость качества работы от скорости реакции, квалификации и опыта оператора;
- 2) значительная зависимость работоспособности робота от качества работы канала связи, так как помехи или обрыв связи могут привести к искажению или утрате управляющих воздействий;
- 3) неспособностью МРК к самостоятельному накоплению и обработке знаний о техногенных образованиях, что приводит к необходимости осуществлять эти функции при помощи удаленной онтологической системы, что, в свою очередь, усиливает негативное влияние первых двух факторов.

Вследствие перечисленных недостатков возникают МРК-потери, которые можно разделить на технико-экономические и социальные. Техничко-экономические потери – это ухудшение физического состояния МРК как имущественного комплекса, возникающее вследствие его взаимодействия с окружающей средой. Существенное значение для технико-экономических потерь имеет системный риск МРК [15]. К социальным потерям относятся потери, обусловленные стрессом оператора МРК из-за чрезмерного потока информации, высокой скорости принятия решений и значительной психологической нагрузки [16–18].

Разработанный МРК с применением искусственного интеллекта свободен от перечисленных недостатков, свойственных неавтономным и полуавтономным дистанционно управляемым роботам. Его общая структура представлена на рис. 2.

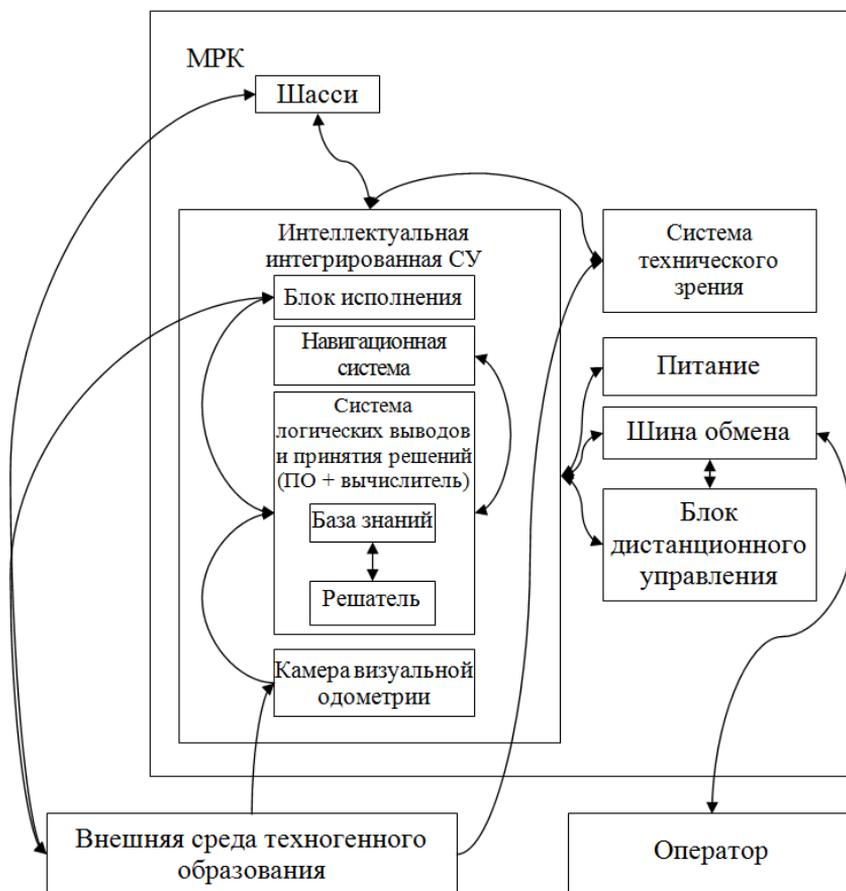


Рис. 2. Структура управления МРК с применением искусственного интеллекта

В состав разработанного МРК входят следующие подсистемы:

1. Базовое шасси платформы повышенной проходимости.
2. Система управления, стабилизации, ориентации и навигации платформы.
3. Система технического зрения платформы.
4. Исполнительные механизмы и система управления исполнительными механизмами платформы и полезной целевой нагрузкой.
5. Комплекс средств защищенной связи.

К ограничениям при создании МРК относятся:

- ограничения по весу и габаритам устройства;
- ограничения по проходимости, связанные с конструкцией шасси;
- ограничения на вычислительную мощность бортового компьютера и трудоемкость алгоритмов.

Предлагаемый МРК будет способен:

- передвигаться по заданному маршруту с высокой точностью параметров движения;
- эффективно использовать «инстинкт самосохранения»: обнаруживать, предупреждать и устранять опасные режимы функционирования;
- оценивать основные параметров наблюдаемых объектов, сцен окружающей обстановки с использованием интеллектуальной системы технического зрения;
- управлять целевой полезной нагрузкой платформы с компенсацией внешних возмущающих факторов.

Вследствие изложенного применение в разработанном МРК систем искусственного интеллекта компенсирует технико-экономические и социальные МРК-потери традиционным системам управления. Экономическая эффективность применения систем искусственного интеллекта представляет собой оценку снижения МРК-потерь.

Оценка снижения технико-экономических потерь может быть осуществлена следующим образом:

1. Потери, связанные с наличием некомпенсированного вреда от агрессивных техногенных образований и уменьшением пользы от доброкачественных техногенных объектов, вызванных несовершенством системы управления, представленной на рис. 1. Математическое ожидание этих потерь M_s можно оценить по формуле

$$M_s = \sum_i P_i^N \cdot C_i^N - \sum_j P_j^g \cdot C_j^g, \quad (2)$$

где i – индекс негативного события;

j – индекс позитивного события;

P_i^N – апостериорная вероятность наступления i -го негативного события при условии использования представленной на рис. 1 структуры управления МРК;

P_j^g – апостериорная вероятность наступления j -го позитивного события при условии использования представленной на рис. 1 структуры МРК;

C_i^N – штраф за наступление i -го негативного события;

C_j^g – приз за наступление j -го позитивного события.

2. Потери, связанные с возможной утратой МРК в результате агрессивного воздействия внешней среды техногенных образований. Математическое ожидание этих потерь M_a в денежном выражении определяется по формуле

$$M_a = P_a \cdot x \cdot C, \quad (3)$$

где P_a – вероятность утраты МРК;

C – стоимость МРК.

3. Потери, связанные с возможным повреждением МРК в результате агрессивного воздействия внешней среды техногенных образований. Математическое ожидание этих потерь M_d в денежном выражении определяется по формуле

$$M_d = \sum_k P_k^d \cdot C_k, \quad (4)$$

где P_k^d – вероятность поломки типа k ;

C_k – стоимость ремонта МРК при поломке типа k .

4. Потери, связанные с повышенным расходом топлива или электроэнергии вследствие неоптимально проложенного курса. Математическое ожидание этих потерь M_f определяется по формуле

$$M_f = (L(T) - L^*(T))C_f, \quad (5)$$

где T – время работы системы;

$L(T)$ – расстояние, пройденное МРК к моменту завершения задания t ;

$L^*(T)$ – оптимальное с точки зрения расхода топлива расстояние, пройденное МРК в моменту времени T ;

C_f – стоимость расхода топлива на единицу пройденного МРК расстояния.

Очевидно, что целью создания автономного МРК является разработка структуры системы управления и модели принятия решений в ней, сокращающих МРК-потери за счет использования в контуре управления научно-технических решений, основанных на применении интеллектуальных технологий распознавания объектов и ситуаций, автономной прокладки курса принятия решений (искусственного интеллекта), что в конечном итоге повысит экономическую эффективность функционирования МРК.

Критерий оценки экономической эффективности применения автономного МРК на базе системы управления с искусственным интеллектом по отношению к традиционным дистанционно управляемым МРК представляет собой сумму экономии, достигаемую за счет сокращения перечисленных выше основных видов потерь, а именно:

1. K_1 – оценка сокращения потерь, характеризуемых уравнением (2). Формируется за счет уменьшения апостериорных вероятностей P_i^N наступления негативных событий в среде техногенных образований и увеличения апостериорных вероятностей наступления позитивных событий.

Сокращение достигается за счет улучшения результата принятия решений путем решения определенных задач непосредственно на базе вычислителя МРК путем использования интеллектуальных технологий, что сокращает время реакции, уменьшает влияние субъективного фактора и влияние помех в канале связи.

Формула для расчета K_1 :

$$K_1 = \left(\sum_i P_i^N \cdot C_i^N - \sum_j P_j^g \cdot C_j^g \right) - \left(\sum_i P_i^{N*} \cdot C_i^{N*} - \sum_j P_j^{g*} \cdot C_j^{g*} \right) \rightarrow \max. \quad (6)$$

Знаком * отмечаются значения показателей для автономного МРК.

2. K_2 – оценка сокращения потерь, характеризуемых уравнениями (3) и (4). Формируется за счет уменьшения математического ожидания потерь вследствие возможной утраты или повреждения МРК.

Сокращение достигается сокращением значений P_a и P_k^d путем более оптимальной прокладки курса в обход естественных и искусственных препятствий и более совершенного распознавания опасных объектов и ситуаций в системе технического зрения.

Формула для расчета K_2 :

$$K_2 = \sum_k P_k^d \cdot C_k + P_a \cdot C - \sum_k P_k^{d*} \cdot C_k + P_a^* \cdot C \rightarrow \max. \quad (7)$$

3. K_3 – оценка сокращения потерь, характеризуемых уравнением (5). Формируется за счет экономии расхода топлива и (или) электроэнергии.

Формула для расчета K_3 :

$$K_3 = (L(T) - L^*(T))C_f \rightarrow \max. \quad (8)$$

В категорию социальных потерь входят потери от стресса оператора, связанного с негативными событиями, загрязнением окружающей среды, ухудшением качества жизни людей, находящихся в зоне техногенного образования, ухудшением условий труда персонала и необходимостью принятия мер по ликвидации аварийных ситуаций. Данный вид потерь уже входит в общую сумму потерь, связанных с наличием некомпенсированного вреда от агрессивных техногенных образований, определяемых в соответствии с формулой (2).

Ожидаемые технико-экономические показатели (сокращение потерь) определяются по формулам для K_1 , K_2 и K_3 для каждого конкретного варианта техногенных образований. Общая оценка экономической эффективности K

представляет собой сумму оценок сокращения отдельных видов потерь, перечисленных выше:

$$P = K_1 + K_2 + K_3. \quad (9)$$

Таким образом, источником экономической эффективности МРК является улучшение качества управления техногенными образованиями, экономия топлива/энергии, потраченных на выполнение задачи, и повышение срока службы самого МРК.

Выводы. Предложенная оценка позволяет формализовать и численно характеризовать экономическую эффективность применения автоматизированной системы управления многофункциональным робототехническим комплексом на основе искусственного интеллекта и выполнить технико-экономическое обоснование его разработки.

Список литературы

1. Корниенко Ан.А., Корниенко А.А., Корниенко А.В. К вопросу о философских предпосылках, состоянии и перспективах исследований по проблеме искусственного интеллекта // Известия ТПУ. – 2013. – № 6. – С. 210–215.
2. Никитина Е.А. Искусственный интеллект: философия, методология, инновации // Философские проблемы информационных технологий и киберпространства. – 2014. – № 2. – С. 108–122.
3. Макаренко С.И. Робототехнические комплексы военного назначения – современное состояние и перспективы развития // Системы управления, связи и безопасности. – 2016. – № 2. – С. 73–132.
4. Искусственный интеллект как стратегический инструмент экономического развития страны и совершенствования ее государственного управления. Ч. 2. Перспективы применения искусственного интеллекта в России для государственного управления / И.А. Соколов, В.И. Дрожжинов, А.Н. Райков, В.П. Куприяновский, Д.Е. Намиот, В.А. Сухомлин // International Journal of Open Information Technologies. – 2017. – № 9. – С. 76–101.
5. ГОСТ 24.202–80. Требования к содержанию документа «Технико-экономическое обоснование создания АСУ»: утв. Постановлением Гос. комитета СССР по стандартам от 14 мая 1980 г. № 2100. – М., 1980.
6. Севастьянова И.Г., Стегний В.Н. Принятие эффективных решений в современной бизнес-среде // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. – 2014. – № 22. – С. 63–67.
7. Быкова Е.С. Оценка эффективности стратегии развития на рынке станкостроительной продукции в условиях реализации политики импортозамещения // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. – 2016. – № 1. – С. 78–87.

8. Манько С.В., Диане С.А.К., Лохин В.М. Планирование действий в группе роботов при решении задач с неявно-определенным сценарием на основе аппарата конечных автоматов // материалы Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям: в 3 т. / С.-Петербург. гос. электротехн. ун-т «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина). – СПб., 2017. – Т. 1. – С. 204–206.

9. Потепалов Д.Н. Формализация представления среды функционирования роботов // Научное обозрение. – 2012. – № 3. – С. 90–97.

10. Курушин Д.С., Кондаков Д.В., Долгова Е.В. Разработка аппаратной части автономного мобильного роботизированного комплекса // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2015. – Т. 13, № 9. – С. 45–50.

11. Организация сетевого взаимодействия элементов мобильного тренажерного комплекса / Е.В. Долгова, Д.С. Курушин, А.Б. Федоров, Р.Р. Бикметов // Инженерный вестник Дона. – 2012. – Т. 22, № 4–1 (22). – С. 85.

12. Курушин Д.С., Долгова Е.В., Файзрахманов Р.А. Принципы организации работ с применением мобильного робота // Научное обозрение. – 2014. – № 7–1. – С. 219–221.

13. Третьяков П.Ю., Долгова Е.В., Курушин Д.С. Проектирование онтологии автономного мобильного робота на основе системы правил // Вестник современной науки. – 2015. – № 5 (5). – С. 42–45.

14. Долгова Е.В., Файзрахманов Р.А., Курушин Д.С. Принятие решений в системе управления автономным мобильным роботом на основе активной семантической сети // Материалы Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям: в 3 т. / С.-Петербург. гос. электротехн. ун-т «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина). – СПб., 2017. – Т. 1. – С. 204–206.

15. Долгова Е.В., Васильева Е.Е. Системный риск в современном мире: понятие, оценка, управление // Известия Уральского горного университета. – 2016. – № 1(41). – С. 112–117.

16. Стегний В.Н. Прогнозирование будущей социальной модели развития России // Вестник Пермского государственного технического университета. Социально-экономические науки. – 2010. – № 5. – С. 3–13.

17. Стегний В.Н. Социальное прогнозирование и проектирование: моногр. / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 2005. – 241 с.

18. Стегний В.Н. Социологический подход к определению категорий «социальные установки» и «ценностные ориентации личности» // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Социально-экономические науки. – 2017. – № 2. – С. 8–17.

References

1. Kornienko An.A., Kornienko A.A., Kornienko A.V. K voprosu o filosofskikh predposylkakh, sostoianii i perspektivakh issledovaniia po probleme iskusstvennogo intellekta [On philosophical premises, state and perspectives of

artificial intelligence problem research]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2013, no. 6, pp. 210–215.

2. Nikitina E.A. Iskusstvennyi intellekt: filosofiiia, metodologiiia, innovatsii [Artificial intelligence: philosophy, methodology, innovation]. *Philosophical Problems of Information Technology and Cyberspace*, 2014, no. 2, pp. 108–122.

3. Makarenko S.I. Robototekhnicheskie komplekсы voennogo naznacheniiia – sovremennoe sostoianie i perspektivy razvitiia [Military robots – the current state and prospects of improvement]. *Systems of Control, Communication and Security*, 2016, no. 2, pp. 73–132.

4. Sokolov I.A., Drozhzhinov V.I., Raikov A.N., Kupriianovskii V.P., Namiot D.E., Cukhomlin V.A. Iskusstvennyi intellekt kak strategicheskii instrument ekonomicheskogo razvitiia strany i sovershenstvovaniia ee gosudarstvennogo upravleniia. Ch. 2. Perspektivy primeneniia iskusstvennogo intellekta v Rossii dlia gosudarstvennogo upravleniia [On artificial intelligence as a strategic tool for the economic development of the country and the improvement of its public administration. Part 2. On prospects for using artificial intelligence in Russia for public administration]. *International Journal of Open Information Technologies*, 2017, no. 9, pp. 76–101.

5. GOST 24.202-80 Trebovaniia k sodержaniuu dokumenta “Tekhniko-ekonomicheskoe obosnovanie sozdaniia ASU” [Requirements for content of the document “Feasibility study of creation of automated control systems”]. Decree approved by the USSR State Committee on Standards dated 14 May 1980, no. 2100].

6. Sevast'ianova I.G., Stegnii V.N. Priniatie effektivnykh reshenii v sovremennoi biznes-srede [Making effective decisions in the modern business environment]. *PNRPU Sociology and Economics Bulletin*, 2014, no. 22, pp. 63–67.

7. Bykova E.S. Otsenka effektivnosti strategii razvitiia na rynke stankostroitel'noi produktsii v usloviiakh realizatsii politiki importozameshcheniia [Assessment of development strategy in the market of machine-tool constructing in the conditions of import-substitution policy]. *PNRPU Sociology and Economics Bulletin*, 2016, no. 1, pp. 78–87.

8. Man'ko S.V., Diane S.A.K., Lokhin V.M. Planirovanie deistvii v gruppe robotov pri reshenii zadach s neiavno-opredelennym stsenariem na osnove apparata konechnykh avtomatov [Task planning in robot grouped for problems with implicitly defined scenarios based on finite-state automata technique]. *International Conference on Soft Computing and Measurements*. Saint Petersburg State Electrotechnical University “LETI”, 2017, vol. 1, pp. 204–206.

9. Potepalov D.N. Formalizatsiia predstavleniia sredy funktsionirovaniia robotov [Formalizing the representation of the environment for robots operation]. *Science Review*, 2012, no. 3, pp. 90–97.

10. Kurushin D.S., Kondakov D.V., Dolgova E.V. Razrabotka apparatnoi chasti avtonomnogo mobil'nogo robotizirovannogo kompleksa [Hardware research of the autonomous mobile robot]. *Journal Information-Measuring and Control Systems*, 2015, vol. 13, no. 9, pp. 45–50.

11. Dolgova E.V., Kurushin D.S., Fedorov A.B., Bikmetov R.R. Organizatsiia setevogo vzaimodeistviia elementov mobil'nogo trenazhernogo kompleksa [Mobile training complex network infrastructure]. *Engineering Journal of Don*, 2012, vol. 22, no. 4-1(22), p. 85.

12. Kurushin D.S., Dolgova E.V., Faizrakhmanov R.A. Printsipy organizatsii rabot s primeneniem mobil'nogo robota [Principles of organizing work with the usage of a mobile robot]. *Science Review*, 2014, no. 7-1, pp. 219–221.

13. Tret'iakov P.Iu., Dolgova E.V., Kurushin D.S. Proektirovanie ontologii avtonomnogo mobil'nogo robota na osnove sistemy pravil [Designing the ontology of an autonomous mobile robot based on rules system]. *Bulletin of Modern Science*, 2015, no. 5(5), pp. 42–45.

14. Dolgova E.V., Faizrakhmanov R.A., Kurushin D.S. Decision-making in the control system of an autonomous mobile robot on the basis of an active semantic network. *Materials of the International Conference on Soft Computing and Measurements*. Saint Petersburg State Electrotechnical University “LETI”, 2017, vol. 1, pp. 204–206.

15. Dolgova E.V., Vasil'eva E.E. Sistemyi risk v sovremennom mire: poniatie, otsenka, upravlenie [Systemic risk in the modern world: definition, assessment, management]. *News of the Ural State Mining University*, 2016, no. 1(41), pp. 112–117.

16. Stegnii V.N. Prognozirovanie budushchei sotsial'noi modeli razvitiia Rossii [Forecasting the future social model of Russia's development]. *PNRPU Sociology and Economics Bulletin*, 2010, no. 5, pp. 3–13.

17. Stegnii V.N. Sotsial'noe prognozirovanie i proektirovanie [Social forecasting and design]. Perm, Perm State Technical University, 2005.

18. Stegnii V.N. Sotsiologicheskii podkhod k opredeleniiu kategorii “sotsial'nye ustanovki” i “tsennostnye orientatsii lichnosti” [Sociological approach to defining of categories of social attitudes and value orientations of a personality]. *PNRPU Sociology and Economics Bulletin*, 2017, no. 2, pp. 8–17.

Оригинальность 92 %

Получено 24.01.2018 Принято 26.02.2018 Опубликовано 28.09.2018

E.V. Dolgova, D.S. Kurushin, R.A. Fayzrakhmanov, E.E. Vasileva

ESTIMATION OF ECONOMIC EFFICIENCY IN APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE SYSTEM IN AUTONOMOUS ROBOTIC COMPLEX CONTROL SYSTEM

The problem of forming the economic efficiency assessment within the framework of justification of intelligent control systems development for robotics is relevant due to impossibility of separating elements of the previous system that have been improved, since the previous control system was not fundamentally an artificial intelligence system, and also due to probabilistic or indeterminate nature of the

consequences of applying artificial intelligence, since with the rise of the system's 'intellect level' features inherent to active systems with human participation appear.

The author's method for evaluating the effectiveness of an automated control system for an autonomous multifunctional robotic complex based on artificial intelligence has been proposed.

The method is an assessment of reduction of technical, economic and social losses in functioning of a multifunctional robotic complex (MRC) based on artificial intelligence systems. The losses include: 1) losses connected with presence of uncompensated harm from aggressive technogenic entities and decrease of benefit from high-quality technogenic objects caused by imperfection of management system; 2) losses connected with possible MRC loss as a result of aggressive impact of technogenic entities' external environment; 3) losses related to possible damage to MRC as a result of aggressive environmental impact of technogenic formations; 4) losses connected with increased fuel or electricity consumption because of imperfect routing. The economic efficiency of autonomous MRC's use on the basis of a control system with artificial intelligence relative to traditional remote-controlled MRCs presents the amount of savings achieved by reducing the above-mentioned main types of losses.

Keywords: economic efficiency, efficiency evaluation, feasibility study, robot, artificial intelligence, automated control system.

Elena V. Dolgova – Doctor of Economics, Professor, Department of Information Technologies and Information Systems, Perm National Research Polytechnic University, e-mail: shagrata@mail.ru.

Daniil S. Kurushin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Information Technologies and Information Systems, Perm National Research Polytechnic University, e-mail: dan973@yandex.ru.

Rustam A. Fayzrakhmanov – Doctor of Economics, Professor, Head of the Department of Information Technology and Information Systems, Perm National Research Polytechnic University, e-mail: fayzrakhmanov@gmail.com.

Ekaterina E. Vasileva – Senior Lecturer, Department of Economics and Finance, Perm National Research Polytechnic University, e-mail: VasilevaEE@list.ru.

Received 24.01.2018 Accepted 26.02.2018 Published 28.09.2018