

© БУХТИЯРОВ И.В., ДЕНИСОВ Э.И., 2021

Читать
онлайн

Бухтияров И.В., Денисов Э.И.

Гигиенические аспекты роботизации: факторы риска и принципы безопасности

ФГБНУ «НИИ медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», 105275, Москва, Российская Федерация

Обзор литературы и эссе по гигиеническим аспектам проблемы роботизации. Отмечено отсутствие общепринятой международной терминологии и приведено определение базовых терминов – робот, система искусственного интеллекта (ИИ) и киберфизическая система (КФС) – по авторитетным источникам. В литературе под термином «робот» часто подразумевают КФС. Кратко изложено зарождение роботов в России. Рассмотрена роль ИИ как основы технологического прорыва и приведены статистические данные по научным, экономическим и социальным аспектам внедрения робототехники. Полагают, что роботы скорее заменят задачи, а не рабочие места и создадут новые их виды. Рассмотрены медико-социальные аспекты роботизации по опыту Евросоюза, США и Южной Кореи и подчеркнута перспективность создания «умных рабочих мест». Описаны виды роботов и их применение в промышленности и медицине для диагностики, лечения и реабилитации. Подчеркнуто, что роботы являются самыми совершенными машинами. Описаны опасности, создаваемые роботами, их причины и возможные последствия от физических (шум, вибрация), химических, электрических, эргономических и других опасностей и отмечено наличие как «традиционных», так и новых факторов риска. Предложена систематика этапов взаимодействия человека с роботом: этические аспекты при проектировании, психология общения, контакты с машиной при её использовании и аспекты безопасности, физиологические реакции человека, возможные клинические проявления нарушений здоровья. Сформулированы принципы безопасности роботов и КФС и отмечено, что чем «умнее» роботы, тем больше риски при отказах программ и поломках. Рассмотрена роль информационной гигиены и необходимость обучения и санитарного просвещения работников и населения. Приведены оценки перспектив роботизации профессии и отмечено, что у профессии гигиенистов в эпоху цифровизации и роботизации есть будущее.

Ключевые слова: роботы; искусственный интеллект; киберфизические системы; факторы риска; гигиеническая безопасность; профилактика; перспективы профессии

Для цитирования: Бухтияров И.В., Денисов Э.И. Гигиенические аспекты роботизации: факторы риска и принципы безопасности. *Гигиена и санитария*. 2021; 100 (1): 6–12. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-1-6-12>

Для корреспонденции: Бухтияров Игорь Валентинович, доктор мед. наук, профессор, член-корр. РАН, директор ФГБНУ «НИИ медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», 105275, Москва. E-mail: info@iriioh.ru

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи. **Благодарность.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов: Бухтияров И.В. – концепция и дизайн исследования, редактирование; Денисов Э.И. – сбор и анализ литературы, составление таблиц, написание текста. Все соавторы – утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Поступила 16.04.2020 / Принята к печати 05.11.2020 / Опубликована 12.02.2021

Igor V. Bukhtiyarov, Eduard I. Denisov

Hygienic aspects of robotization: risk factors and safety principles

N.F. Izmerov Research Institute of Occupational Health, Moscow, 105275, Russian Federation

The paper presents a review and essays on the hygienic aspects of the problem of robotics. The absence of generally accepted international terminology is noted. There is given a definition of basic terms as a robot, an artificial intelligence system (AIS), and a cyber-physical system (CFS) – according to authoritative sources. In the literature, the term robot is often used to mean CFS. The origin of robots in Russia is briefly described. The role of AIS as the basis of a technological breakthrough is considered. There is represented statistical data on the scientific, economic, and social aspects of the introduction of robotics. Robots are believed to be more likely to replace tasks rather than jobs and create new types of them. The medical and social aspects of robotization based on the experience of the European Union, the USA, and South Korea are examined, and the prospects of creating "smart jobs" are emphasized. The types of robots and their application in industry and medicine for diagnosis, treatment, and rehabilitation are described. It is emphasized that robots are the most advanced machines. The dangers created by robots, their causes, and possible consequences from physical (noise, vibration), chemical, electrical, ergonomic, and other perils are described. The presence of both "traditional" and new risk factors is noted. The systematics of the stages of human-robot interaction is proposed: ethical aspects in the design, communication psychology, contacts with the machine during its use and safety aspects, human physiological responses, possible clinical manifestations of health disorders. The safety principles of robots and CFS are formulated, and that the "smarter" the robots, the greater the risks of program failures and breakdowns are noted. The role of information hygiene and the need for training and health education of workers and the population are examined. Estimates are given of the prospects for the robotization of the profession. The occupation of hygienists in the era of digitalization and robotization is noted to have a future.

Keywords: robots; artificial intelligence; cyber physical systems; risk factors; hygienic safety; prophylaxis; prospects of occupation

For citation: Bukhtiyarov I.V., Denisov E.I. Hygienic aspects of robotization: risk factors and safety principles. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100 (1): 6–12. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2010-100-1-6-12> (In Russ.)

For correspondence: Igor V. Bukhtiyarov, MD, Ph.D., Dsci, Prof., RAS corr. member, Director of the Izmerov Research Institute of Occupational Health. E-mail: info@iriioh.ru

Information about the authors: Bukhtiyarov I.V., <https://orcid.org/0000-0002-8317-2718>; Denisov E.I., <https://orcid.org/0000-0002-2771-1617>

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgements. The study had no sponsorship.

Contribution of the authors: Bukhtiyarov I.V. – the research concept and design, editing; Denisov E.I. – collection and analysis of literature, tabulation, writing a text. All co-authors – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Received: April 04, 2020 / Accepted: November 05, 2020 / Published: February 12, 2021

Введение и терминология

В «Стратегии развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы»¹ цифровая экономика (ЦЭ) определена как «...хозяйственная деятельность, в которой ключевым фактором производства являются данные в цифровом виде». Программа «Цифровая экономика Российской Федерации»² наметила пути развития ЦЭ до 2024 г. и выделила основные технологии: большие данные; нейротехнологии и искусственный интеллект; квантовые технологии; новые производственные технологии; промышленный интернет; робототехника и сенсорика; беспроводная связь; виртуальная и дополненная реальность.

В основе большинства этих технологий лежит искусственный интеллект (ИИ). Ещё 30 мая 2019 г. Президент Российской Федерации В.В. Путин на совещании по вопросам развития технологий ИИ отметил: «Искусственный интеллект – это будущее не только России, это будущее всего человечества... Тот, кто станет лидером в этой сфере, будет властелином мира».

Всё шире внедряются системы, основанные на ИИ, так называемые киберфизические системы (КФС). В настоящее время отсутствует единая международно принятая терминология в этой области (международный стандарт ИСО ожидается в 2021 г.), поэтому следует дать основополагающие термины – «робот», «система ИИ» и КФС – по авторитетным источникам.

*Робот (robot)*³ – исполнительный механизм, программируемый по двум или более степеням подвижности, обладающий определённой степенью автономности и способный перемещаться во внешней среде с целью выполнения задач по назначению. В 2018 г. ИСО/ТК 299 «Робототехника» принял новое определение: «Робот (robot) – программируемый исполнительный механизм с определённым уровнем автономности для выполнения перемещения, манипулирования или позиционирования».

*Искусственный интеллект*⁴ – «комплекс технологических решений, позволяющий имитировать когнитивные функции человека (включая самообучение и поиск решений без заранее заданного алгоритма) и получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые как минимум с результатами интеллектуальной деятельности человека».

Среди задач в Стратегии отмечено «повышение качества услуг в сфере здравоохранения, включая профилактические обследования, прогнозирование возникновения и развития заболеваний, сокращение угроз пандемий».

*Киберфизические системы*⁵ (КФС, *англ.* CPS) – «это инженерные системы, которые построены на основе непрерывной интеграции вычислительных и физических компонентов и зависят от неё. Достижения в КФС обеспечат возможности, адаптивность, масштабируемость, отказоустойчивость, безопасность, надёжность, безопасность и удобство использования, что расширит горизонты этих критических систем. Технологии КФС преобразуют способ взаимодействия людей с созданными системами, так же как Интернет изменил способ взаимодействия людей с информацией».

Это определение Национального научного фонда США можно считать обобщающим, хотя КФС часто именуют «роботами на основе ИИ». Ввиду отсутствия общепринятой

терминологии мы будем использовать термины «робот» и «робототехника» как наиболее часто встречающиеся в научно-технической литературе.

Здесь переплетены проблемы физики, математики, философии, инженерии и др.; их применяют в быту, промышленности, медицине, образовании и культуре [1–5]. Вследствие взаимодействия КФС и человека-оператора или населения в целом их распространение порождает проблемы не только когнитивистики, но и этики, гигиены и др. Создан Научный совет при Президиуме РАН по методологии ИИ и когнитивным исследованиям (НСМИИ РАН). Поэтому эти технологии требуют обстоятельного анализа для гигиенической регламентации.

Цель работы – проанализировать гигиенические аспекты применения роботов и КФС на основе ИИ, факторы риска для здоровья, принципы безопасности, пути профилактики и перспективы роботизации профессии.

ИИ как основа технологического прорыва. Первым в мире роботом можно считать шагающий «стопход» П.Л. Чебышёва, который пользовался большим успехом на Всемирной выставке в Париже в 1878 г., а вершиной мировой робототехники, по-видимому, был и остаётся советский космический аппарат «Буран» [6]. В 2019 г. корабль «Союз МС-14» доставил на МКС робота Фёдора, или Skybot F-850. Изначально он создавался в интересах МЧС для замены людей в ситуациях, опасных для здоровья и жизни, но и в других отраслях интерес к нему ещё выше. Например, «Роскосмос» видит в антропоморфных роботах инструмент, способный осваивать новые профессии так же, как человек⁶.

По оценкам международных экспертов, инвестиции в технологии ИИ выросли с 2014 по 2017 г. в три раза и составили около 40 млрд долларов США. В 2018 г. мировой рынок технологий на основе ИИ составил 21,5 млрд долларов США и, по прогнозам, к 2024 г. достигнет почти 140 млрд долларов США. Это обеспечит рост мировой экономики в 2024 г. не менее 1 трлн долларов США (см. сноску 3).

Например, в Германии в 2015 г. выигрыш промышленности 4.0 к 2025 г. оценивали в 78–267 млрд евро, а повышение производительности – на 15–30% [7].

Показатели развития проблемы к 2019 г. следующие.

Число публикаций:

- в период 1998–2018 гг. объём статей по ИИ вырос более чем на 300%, составив 3% всех журнальных публикаций и 9% докладов на конференциях;
- Китай издаёт столько же журналов и проводит конференций по ИИ, что и Европа; в США публикаций примерно на 50% больше, чем в Китае;
- более 32% цитирований мировых журналов по ИИ относятся к Восточной Азии;
- на долю Северной Америки приходится более 60% мировой активности по цитированию патентов в области ИИ в период 2014–2018 гг. [5].

По данным Российской венчурной компании⁷, по проблеме КФС насчитывается около 630 000 публикаций и 18 000 патентов (лидеры – США и Китай). У россиян 8000 совместных публикаций, а 60% – результат сотрудничества с иностранцами.

В социальной области:

- из этических проблем в 59 основных документах по этике ИИ наиболее часто упоминались справедливость, интерпретируемость и объяснимость;
- в более чем 3600 статьях по этике и ИИ в период с середины 2018 г. до середины 2019 г. преобладали темы структуры и руководящих принципов этического использования ИИ, конфиденциальности данных, распознавания лиц и др.;

¹ Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017–2030 годы. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 09.05.2017 г. № 203.

² Программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Утверждена Правительством Российской Федерации от 28 июля 2017 г. № 1632-р.

³ ГОСТ Р 60.0.0.4-2019/ИСО 8373:2012 Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения.

⁴ Национальная стратегия развития искусственного интеллекта на период до 2030 г. Утверждена Указом Президента Российской Федерации от 10 октября 2019 г. № 490.

⁵ Cyber-Physical Systems (CPS). US National Science Foundation, 2018 (https://www.nsf.gov/funding/pgm_summ.jsp?pims_id=503286).

⁶ Тихонов А. Наш Фёдор входит в мировую пятёрку лучших роботов. <https://www.kp.ru/daily/27017/4080183/>

⁷ АО «Российская венчурная компания» (АО «РВК») – государственный фонд фондов и институт развития венчурного рынка Российской Федерации (<https://www.rvc.ru/>).

• ИИ может внести вклад в каждую из 17 целей ООН в области устойчивого развития посредством применений примерно в половине из 169 целей ООН, однако необходимо преодолеть узкие места применения ИИ для устойчивого развития [5].

По мнению учёных Стэнфордского университета [2], ИИ скорее заменит задачи, а не рабочие места и создаст новые виды рабочих мест. Поскольку труд становится менее важным фактором производства по сравнению с владением интеллектуальным капиталом, большинство граждан могут посчитать стоимость своего труда недостаточной. Экономическое влияние ИИ на когнитивные рабочие места человека будет аналогично влиянию автоматизации и робототехники.

Эти изменения потребуют политического, а не чисто экономического ответа на вопрос о том, какими должны быть системы социальной защиты, чтобы защитить людей от крупных структурных сдвигов в экономике. При отсутствии смягчающей политики их бенефициарами может быть небольшая группа в верхнем слое общества [1].

В краткосрочной перспективе образование, переподготовка и изобретение новых товаров и услуг могут смягчить эти последствия. В более долгосрочной перспективе сеть социальной защиты может нуждаться в улучшении социальных услуг, таких как здравоохранение и образование, или гарантированного базового дохода; Швейцария и Финляндия изучают такие меры. ИИ можно рассматривать как радикально иной механизм создания товаров и оказания услуг [5].

Медико-социальные аспекты роботизации (опыт Евросоюза, США и Южной Кореи)

Международное бюро труда в обзоре применения роботов в мире отметило влияние автоматизации на занятость и ремёсла [8]. Этим вопросам посвящено много работ в разных странах [9], в частности, отчёт об оснащённости промышленными роботами стран Евросоюза и их сравнительной конкурентоспособности [10].

Европейское агентство по безопасности и гигиене труда (EU-OSHA) ещё в 2015 г. опубликовало дискуссионный документ о будущем труда при его роботизации [11]. Затем EU-OSHA опубликовало отчёт о драйверах роста информационно-коммуникационных технологий (ИКТ) и их влиянии на безопасность и гигиену труда по данным опроса специалистов и фирм. Основные преимущества — это удаление людей из опасной среды и предоставление новых возможностей для обмена информацией о передовой практике охраны труда. Риски в основном психосоциальные (например, связанные с эмоциональной и когнитивной нагрузкой, а также работой в режиме 24/7, постоянной связностью, потерей традиционных рабочих иерархий и социальным взаимодействием на работе) и эргономические (например, связанные с увеличением использования мобильных устройств), а также от новых человеко-машинных интерфейсов. Ряд комментариев были связаны со стрессом на работе, а также издевательствами и дискриминацией в труде [12].

Некоторые работники будут подвержены рискам, таким как эргономические риски и риски безопасности, включая риски функциональной безопасности, связанные с кибербезопасностью. Увеличение организационных и психосоциальных рисков с ростом стресса, связанного с работой, и плохим психическим здоровьем может быть следствием увеличения нагрузки и сложности работы, нерегулярного рабочего времени, меньшего социального взаимодействия и поддержки на работе, размытых границ между работой и частной жизнью, а также новых форм работы с неясным статусом занятости [12].

В 2019 г. начата исследовательская программа EU-OSHA «Цифровизация и охрана и медицина труда» [13]. В период 2020–2022 гг. будет осуществлён проект «Обзор охраны труда», чтобы предоставить углублённую информацию для политики, профилактики и практики по проблеме. Кампания «Здоровые рабочие места», начинающаяся в 2023 г., также фокусируется на цифровизации. В её рамках на веб-сайте

EU-OSHA будут опубликованы дополнительные практические ресурсы по цифровизации и охране труда (<https://osha.europa.eu/en/emerging-risks/developments-ict-and-digitalisation-work>). Видно, что Евросоюз уделяет серьёзное внимание вопросам безопасности и медицины труда в условиях цифровизации экономики Европы.

В США Национальный институт охраны и медицины труда (NIOSH) недавно основал Центр исследований в области профессиональной робототехники (CORR), чтобы обеспечить научное руководство для разработки и использования профессиональных роботов, которые повышают безопасность, здоровье и благополучие работников. CORR будет работать в партнёрстве с исследователями, торговыми ассоциациями, производителями робототехники, работодателями, использующими технологии робототехники, профсоюзными организациями и другими федеральными агентствами для того, чтобы:

- отслеживать тенденции в травмах, связанных с робототехническими технологиями;
- оценивать робототехнические технологии как источники травм и заболеваний на рабочем месте и вмешательства;
- установить профили риска рабочих мест с роботами;
- определять потребности в исследованиях и проводить исследования для улучшения безопасности, здоровья и благополучия людей, работающих с роботами и роботизированными технологиями;
- поддерживать разработку и принятие согласованных стандартов безопасности;
- разрабатывать и распространять передовой опыт, рекомендации и обучение для безопасного взаимодействия между людьми и роботами/робототехникой [14].

К этим материалам NIOSH, посвящённым преимущественно вопросам охраны труда, был дан комментарий в части отечественных разработок по информационной гигиене как новому направлению профилактической медицины [15].

*В Республике Корея*⁸ в 2018 г. было около 300 000 действующих промышленных роботов; их количество удвоилось за последние 5 лет, и после Японии и Китая страна заняла третье место в 2018 г., имея 774 робота на 10 000 работников — в два раза больше Германии (3-е место с 338 единицами) и Японии (4-е место с 327 единицами). По Закону о развитии и обучении рабочей силы, обновлённому в 2019 г., люди получают поддержку для развития навыков работы с роботами. По «Стратегии инновационного умного производства», к 2022 г. будет создано 50 000 «умных» рабочих мест.

Виды роботов и их применение в медицине

По стандарту⁹ их подразделяют на промышленные и сервисные.

Промышленные роботы применяют в следующих отраслях:

- обрабатывающая промышленность (обработка металла, пластмасс и др., ковка, прессование, сварка, в том числе лазерная, резка металла, окраска и др.);
- логистика (упаковка, сортировка, штабелирование, транспортная и др.);
- фармацевтика и медицина (скрининг ДНК, разработка лекарств, токсикология).

Сервисные роботы — роботы, выполняющие полезные задачи для людей или оборудования, за исключением приложений промышленной автоматизации; их подразделяют на две категории:

- персональные для некоммерческих задач, таких как работа по дому (например, роботы для домашней прислуги, автоматизированные инвалидные коляски и роботы для помощи в передвижении);

⁸ Корея установила новый рекорд: 300 000 промышленных роботов в действии (<https://ifr.org/ifr-press-releases/news/korea-hits-new-record>).

⁹ ГОСТ Р 60.0.0.4-2019/ИСО 8373:2012 Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения (Robots and robotic devices. Terms and definitions).

Таблица 1

Потенциальные опасности роботов для здоровья людей

Опасность	Причина	Потенциальное последствие*
Электрическая	Контакт с токоведущими частями, конденсаторами, воздействие дугового разряда, высокое напряжение или высокая частота, сварка при высоком напряжении	<ul style="list-style-type: none"> ▸ электрический шок (электротравма); ▸ ожог или обваривание (термический ожог или обваривание); ▸ вдыхание токсичных испарений; ▸ поражение глаз электрической искрой (электроофтальмия); ▸ действие на кардиостимулятор
Термическая	Горячие поверхности деталей, взрывоопасная атмосфера, огнеопасные растворители, пыль при шлифовке, воздействие экстремальных температур	<ul style="list-style-type: none"> ▸ ожоги; ▸ пожар, взрыв; ▸ излучение от источников тепла; ▸ вдыхание токсичных испарений; ▸ обезвоживание
От шума	Потеря устойчивости и дезориентация робота, высокий уровень окружающего шума, мешающий слышать сигналы опасности, длительное действие повышенных уровней шума	<ul style="list-style-type: none"> ▸ воздействие на слух и устойчивость, сознание; ▸ воздействие на речевое взаимодействие, восприятие акустических сигналов; ▸ потеря слуха
От вибрации	Ослабление соединений, креплений, компонентов, что приводит к неожиданной остановке или выпадению деталей	<ul style="list-style-type: none"> ▸ утомление; ▸ неврологическое поражение; ▸ сосудистые нарушения
От излучения	Электромагнитные помехи, нарушающие работу робота, излучения от техпроцесса (дуговой сварки, лазера)	<ul style="list-style-type: none"> ▸ ожоги; ▸ болезнь
От материалов/веществ	Обслуживание, смазка и замена компонентов, утечка жидкости для охлаждения и техпроцесса, повреждения систем и защиты робота	<ul style="list-style-type: none"> ▸ отравление; ▸ вдыхание едких испарений и пыли; ▸ ожоги
Эргономическая	Плохо спроектирован пульт управления или сенсорный экран интерфейса или они расположены слишком далеко или высоко, плохое освещение	<ul style="list-style-type: none"> ▸ утомление; ▸ столкновения; ▸ падение; ▸ потеря сознания; ▸ стресс

Примечание. * В скобках приведены корректные термины.

Table 1

Potential health hazards of robots

Hazards	Cause	Potential consequence*
Electrical	Contact with live parts, capacitors, exposure to arcing discharge, high voltage or high frequency, high voltage welding Hot parts surfaces, explosive atmospheres, flammable solvents, grinding dust, exposure to extreme temperatures	<ul style="list-style-type: none"> ▸ electric shock (electrical injury); ▸ burn or scalding (thermal burn or scalding); ▸ inhalation of toxic fumes; ▸ damage to the eyes with an electric spark (electrophthalmia); ▸ impact on a pacemaker
Thermal	Hot parts surfaces, explosive atmospheres, flammable solvents, grinding dust, exposure to extreme temperatures	<ul style="list-style-type: none"> ▸ burns; ▸ fire, explosion; ▸ radiation from heat sources; ▸ inhalation of toxic fumes; ▸ dehydration
Hazards from noise	Loss of stability and disorientation of the robot, high level of ambient noise interfering with hearing danger signals, prolonged exposure to increased noise levels	<ul style="list-style-type: none"> ▸ impact on hearing and stability, consciousness; ▸ impact on speech interaction, perception of acoustic signals; ▸ hearing loss
Hazards from vibration	Looseness of connections, fasteners, components, which leads to unexpected stops or parts falling out	<ul style="list-style-type: none"> ▸ fatigue; ▸ neurological deterioration; ▸ vascular disorders
Hazards from radiation	Electromagnetic interference disrupting the operation of the robot, radiation from a technical process (arc welding, laser)	<ul style="list-style-type: none"> ▸ burns; ▸ illness
Hazards from materials / substances	Maintenance, lubrication and replacement of components, leakage of liquid for cooling and technical process, damage to systems and protection of the robot	<ul style="list-style-type: none"> ▸ poisoning; ▸ inhalation of corrosive fumes and dust; ▸ burns
Ergonomic hazards	Poorly designed control panel or touch screen interface or they are located too far or high, poor lighting	<ul style="list-style-type: none"> ▸ fatigue; ▸ collisions; ▸ a fall; ▸ loss of consciousness; ▸ stress

Note. * Correct terms are given in brackets.

Этапы взаимодействия человека с роботом, возможные последствия и требования гигиенической безопасности

Этап	Содержание этапа
Этические аспекты при проектировании	Машина должна быть ненавязчивой и дружелюбной (<i>англ.</i> friendly) к человеку, вплоть до проявлений эмпатии
Психологические аспекты знакомства и общения	Изучение человеком особенностей машины. Выработка установки на её позитивную роль как помощника человека. Устранение предпосылок для когнитивного диссонанса
Эргономические аспекты контактов с машиной при её использовании и требования безопасности	Машина должна быть «мягкой» внутри — программы («софт») и снаружи — обшивка («железо»): <ul style="list-style-type: none"> ▸ безопасность электромеханики, гидравлики, пневматики и других приводов; ▸ отсутствие физических, химических и биологических факторов риска для здоровья
Физиологические реакции человека	Возможен сенсорный конфликт между зрительной и вестибулярной системами и комплекс вестибулосенсорных, вестибуловегетативных и вестибулосоматических реакций («киберболезнь», эпилептические припадки, психические расстройства у детей и подростков, риск выкидышей у беременных и т. п.)
Возможные клинические проявления нарушений здоровья	Риск профзаболеваний — тугоухости, вибрационной болезни, отравлений и т. п., информационнозависимых нарушений со стороны ССС, ЖКТ и др., а также депрессия, психопатия вплоть до антисоциального поведения — протеста против роботов и др.

Table 2

Stages of human-robot interaction, possible consequences, and hygienic safety requirements

Stage	Stage content
Ethical aspects in design	The machine should be unobtrusive and friendly (English friendly) to the person, up to the manifestations of empathy
Psychological aspects of acquaintance and communication	The study of the features of a machine by a person. Developing an attitude towards her positive role as a human assistant. Eliminating the premises for cognitive dissonance
Ergonomic aspects of contacts with the machine during its application and safety requirements	The machine must be "soft" inside - software ("soft") and outside - casing ("hardware"): <ul style="list-style-type: none"> ▸ safety of electromechanics, hydraulics, pneumatics, and other drives; ▸ absence of physical, chemical, and biological health risk factors
Human physiological responses	Possible sensory conflict between the visual and vestibular systems and a complex of vestibulosensory, vestibulo-vegetative and vestibulosomatic reactions ("cyber disease", epileptic seizures, mental disorders in children and adolescents, the risk of miscarriages in pregnant women, etc.)
Possible clinical manifestations of health disorders	Risk of occupational diseases - hearing loss, vibration sickness, poisoning, etc., information-dependent disorders from the cardiovascular system, gastrointestinal tract, etc., as well as depression, psychopathy up to antisocial behavior - protest against robots, etc.

• профессиональные для коммерческих задач — их используют обученные операторы (роботы для уборки общественных мест, роботы-доставщики в офисах или больницах, пожарные роботы, для реабилитации и хирургии в больницах) [16, 17].

Сервисные роботы получают всё большее распространение в медицине [18]; это роботы-хирурги и роботизированные хирургические системы, роботы — симуляторы пациентов, экзоскелеты и роботизированные протезы, роботы для медицинских учреждений и роботы-помощники, нанороботы и другие специализированные медицинские роботы (https://robotics.ua/shows/modernity/3345-your_health_health_robotics_today).

По оценкам Всемирного банка [19], 20% мирового населения испытывают трудности с физическим, когнитивным или сенсорным функционированием, психическим или поведенческим здоровьем. Поэтому роботов всё чаще применяют при лечении и реабилитации [20], формируют положительное отношение к ним как к помощникам медицинских и социальных работников [21, 22]. В литературе много внимания уделяют вопросам не только экономических выгод, но и улучшению благосостояния граждан от применения роботов [16, 18].

Наряду с этим, учитывая возможные случайные контакты между роботом и человеком-работником в ходе применения, необходимо изучать условия ограничения мощности и силы для обеспечения совместимости с предельными величинами биомеханической нагрузки [23] и разработки совместной архитектуры физического и эргономического взаимодействия «человек — робот» [24].

Здесь и далее будем иметь в виду «робота для совместных работ (collaborative robot)» по п. 2.26 ГОСТ Р ИСО 8373-2014¹⁰,

¹⁰ ГОСТ Р ИСО 8373-2014 Роботы и робототехнические устройства. Термины и определения.

то есть робота, созданного для непосредственного взаимодействия с человеком. В литературе его именуют также коллаборативным роботом или коботом (*англ.* *co-bot*). Прочие виды роботов можно рассматривать как машины и/или оборудование и применять к ним гигиенические требования как к таковым.

Потенциальные опасности роботов. В робототехнике большое внимание уделяют вопросам безопасности и охраны здоровья. МОТ ещё в 1989 г. выпустил руководство по безопасному применению роботов в промышленности [25], а в 2018 г. — обзор по распространённости роботов в мире и их влиянию на занятость [8].

ГОСТ Р 60.1.2.2-2016¹¹ перечисляет опасности роботов: электрические, термические, от шума, от вибрации и эргономические, а также указывает вредные эффекты: ожоги или обваривания, падение; потеря сознания; воздействие на слух и устойчивость, поражение глаз электрической искрой, неврологическое поражение, сосудистые нарушения, стресс, утомление и др. Особого внимания требует применение ко-роботов при совместной работе с человеком, что отражено в руководстве [23] ИСО¹². Такие системы применяют, например, в медицине при обследованиях и операциях пациентов [18].

В табл. 1 приведены потенциальные опасности для здоровья людей, создаваемые стационарными и мобильными промышленными и сервисными роботами (извлечение с сокращениями из ГОСТ Р 60.1.2.2-2016 — см. сноску 11).

¹¹ ГОСТ Р 60.1.2.2-2016/ ИСО 10218-2: 2011 Роботы и робототехнические устройства. Требования по безопасности для промышленных роботов. Часть 2. Робототехнические системы и их интеграция.

¹² ISO/TS 15066 (<https://www.iso.org/news/2016/03/Ref2057.html>).

В таблице приведены «традиционные» факторы риска, однако новые технологии и материалы сопряжены с новыми факторами риска, новыми профзаболеваниями и/или болезнями, связанными с работой [12]. Всё большую роль играют информационные нагрузки, вызывающие стрессы, депрессии [26], особенно для роботов с ИИ или системами дополненной или виртуальной реальности (AR/VR).

Этапы взаимодействия человека с роботом и их возможные последствия. Роботы как наиболее совершенный вид машин¹³ предполагают учёт комплекса требований к их структуре и функциям для обеспечения гигиенической безопасности. Нами (Денисов Э.И., 2020) предложено учитывать последовательность этапов взаимодействия человека с роботом или КФС на базе ИИ, включая системы AR/VR (табл. 2).

Из табл. 2 видно, что в проблеме гигиенической безопасности использования роботов следует учитывать комплекс этических, психологических, эргономических, физиологических и клинических аспектов.

Принципы безопасности роботов. По мнению экспертов, доля расходов на обеспечение безопасности оценивается в 10–20% от общих затрат на изготовление и обслуживание робота. При объёме продаж роботов в 2008 г. около €15 млрд затраты на обеспечение безопасности на рынке робототехники составили примерно €1,4–2,8 млрд в год [10]. Вопросам экономики ИИ и роботов посвящена монография Гарвардской школы бизнеса [3]. Много работ по взаимодействию человека и робота, в том числе в опасных условиях [27], но лишь единичные работы рассматривают интерфейсы пользователя как фактор риска для здоровья оператора [29].

Все эти данные свидетельствуют о серьёзности проблемы и готовности разработчиков и промышленности к её решению, включая гигиеническую оценку, сертификацию безопасности и т. п.

На основе анализа литературы [1, 3, 6, 7, 12, 16 и др.] можно сформулировать следующие общие принципы безопасности и безвредности робота:

- узнавание хозяина и дружелюбность к человеку;
- мягкие движения и материалы, безопасность при отказах и поломках (скорость, ориентиры, объекты, оптическая сцена, экстерорецепторы и проприорецепторы);
- концепция переменной жёсткости — изменение силы и жёсткости (физические структуры и химические свойства материалов не должны причинять вред людям);
- безопасность физических структур, а не алгоритмов и датчиков, которые могут отказать;
- разнесение человек — робот не физическое, а виртуальное с помощью сенсоров и алгоритмов.

С гигиенической точки зрения можно выделить следующие положения:

а) чем «умнее» робот, тем больше возможная нервно-эмоциональная нагрузка (НЭН) на человека;

б) роботы несут следующие виды рисков (острых и/или хронических): травмы, физические, химические, биологические, психические, социальные риски.

Тем самым наяву основные противоречия: чем умнее робот с ИИ, тем выше НЭН человека и чем ближе робот, тем выше риск для пользователя.

В целом необходимы биомеханические испытания и судебно-медицинские критерии для профилактики травматизма, а также каузация возможных болезней, связанных с работой (БСР — термин ВОЗ, 1987), при этом для совместных роботов все эти требования должны быть более строгими.

Заключение

Поскольку в основе роботизации лежат ИИ и информационные технологии, научной основой профилактики являются общие гигиенические принципы с учётом специфики информационных нагрузок на пользователя робота.

¹³ Машина — устройство, выполняющее механические движения для преобразования энергии, материалов и информации (БСЭ, 2012).

тов. В ФГБНУ НИИ медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова созданы основы информационной гигиены как нового раздела профилактической медицины, изучены информационные нагрузки (ИН) как гигиенически значимый физический фактор [29–31], разработаны методические рекомендации¹⁴ и глоссарий терминов¹⁵, а также компьютерные программы, включённые в электронную библиотеку «Профессиональный риск» (<http://medtrud.com/>). Это создаёт основу для исследований по определению физических критериев гигиенической оценки ИН. Эти работы были продолжены другими авторами [32]. Появляются работы по информационной гигиене умственного труда [33].

В интервью с автором данной работы главный редактор журнала «Санитарный врач» Т. Соломай согласилась [34] с известным в Европе тезисом [12] о том, что новые технологии могут породить новые факторы риска и новые болезни работников.

Зарождается информационная эргономика — раздел эргономики, изучающий трудовые процессы в условиях информационных нагрузок (в том числе от КФС) на основе принципов информационной гигиены с целью создания оптимальных условий труда и роста его производительности [28].

Можно говорить о научной школе «Нейрокомпьютеры в информационной гигиене — новое направление профилактической медицины в цифровую эпоху» на основе ФГБНУ НИИ медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова [35].

Спецпредставитель Президента России по вопросам цифрового и технологического развития Д. Песков заявил, что школам нужны уроки интернет-гигиены, поскольку индекс цифровой грамотности россиян вырос, но не превышает 6 пунктов из 10¹⁶. Отметим, что недавно Центр гигиенического образования населения Роспотребнадзора¹⁷ выпустил буклет «Информационная гигиена».

Целесообразно проведение масштабных физиолого-гигиенических исследований для разработки руководства или санитарных правил по гигиенической оценке и ограничению ИН на работников и население, аналогичного руководству Р 2.2.1766-03 и Р 2.2.2006-05. Оно было бы новым инструментом внедрения в практику Роспотребнадзора оценки профессионального риска для эффективного управления им.

Каково будущее профессии гигиенистов в эпоху цифровизации и роботизации? На симпозиуме по цифровизации «Будущее труда и охраны и медицины труда» [36] положительно оценён опыт Скандинавских стран и рекомендовано распространять его по всему миру. В частности, установлено, что молодые медработники охотнее встречаются и пользуются роботами, чем высококвалифицированные [20].

Опрос в США специалистов по охране и медицине труда (инженеров по охране труда, санитарных инспекторов, врачей-гигиенистов, профпатологов, специалистов по оценке риска, реабилитации и др.) показал, что при общей численности этих профессий 76 630 чел. вероятность роботизации профессии оценивают в 25% в течение следующих двух десятилетий: вероятность 17% и рост к 2024 г. еще на 4%¹⁸.

Можно не беспокоиться за судьбу этой профессии, которая должна жить вечно как забота о здоровье и благополучии человека. Кстати, в 2021 г. термину «робот», который предложил Карел Чапек [37], исполнится 100 лет...

¹⁴ Информация как гигиенический фактор и принципы профилактики для инновационного труда (методические рекомендации). Утв. Научным советом № 45 «Медико-экологические проблемы здоровья работающих» РАМН 1 марта 2013 г. М.: ФБГУ НИИ МТ РАМН, 2013. 44 с.

¹⁵ Глоссарий гармонизированных терминов и понятий: Труд, информация, здоровье, инновации (под ред. Э.И. Денисова). Утв. Научным советом № 45 «Медико-экологические проблемы здоровья работающих» РАМН 30 октября 2013 г. М.: ФБГУ НИИ МТ РАМН, 2013. 20 с.

¹⁶ В школах нужны уроки цифровой гигиены. Известия, 23 июля 2018 г. (<https://iz.ru/767939/mariia-nediuk/v-shkolakh-nuzhny-uroki-tsifrovoi-gigieny>).

¹⁷ ФБУЗ «Центр гигиенического образования населения» Роспотребнадзора (<http://www.cgon.ru/content/62/1897/>).

¹⁸ <https://willrobotstakeyourjob.com/29-9011-occupational-health-and-safety-specialists>

Литература

(п.п. 1–5, 7–14, 16–25, 27, 36 см. References)

6. Савельев А.В. Кооперативная нейромеханическая робототехника. *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*. 2019; 21(4): 38–44. <https://doi.org/10.18127/j19998554-201904-07>
15. Бухтияров И.В., Денисов Э.И. Анализ материалов NIOSH (США) о приоритетах исследований промышленных роботов и комментарии к нему. *Медицина труда и промышленная экология*. 2020; 60(1): 4–11. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-1-4-11>
26. Еремин А.Л. Влияние информационной среды на здоровье населения. *Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины*. 2000; (6): 21–4.
28. Степанян И.В. Пользовательские интерфейсы, биомеханика и здоровье операторов. *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*. 2019; 21(4): 22–8. <https://doi.org/10.18127/j19998554-201904-05>
29. Бухтияров И.В., Денисов Э.И., Еремин А.Л. Основы информационной гигиены: концепции и проблемы инноваций. *Гигиена и санитария*. 2014; 93(4): 5–9.
30. Денисов Э.И. Роботы, искусственный интеллект, дополненная и виртуальная реальность: этические, правовые и гигиенические проблемы. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(1): 5–10. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-1-5-10>
31. Еремин А.Л. От стратегии информационного общества к информационной гигиене. В кн.: *Материалы XII Всероссийского съезда гигиенистов и санитарных врачей*. Том 2. М.: Дашков и К; 2017: 256–9.
32. Гудинава Ж.В., Гегечкори И.В., Толькова Е.И., Жернакова Г.Н., Овчинникова Е.Л. К вопросу разработки основ информационной гигиены. *Современные проблемы науки и образования*. 2014; (3): 541–7.
33. Леонова М.К. Информационная гигиена умственного труда и ее обеспечение с помощью нейрокомпьютерной биоакустической коррекции. *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*. 2019; 21(4): 29–37. <https://doi.org/10.18127/j19998554-201904-0>
34. Соломай Т.В. Внедрение новых технологий: от новых факторов риска к новым болезням работников. *Санитарный врач*. 2019; (7): 11–6.
35. Научная школа «Нейрокомпьютеры в информационной гигиене — новое направление профилактической медицины в цифровую эпоху». *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*. 2019; 21(4): 5–8. <https://doi.org/10.18127/j19998554-201904-01>
37. Чапек Карел. В кн.: Прохоров А.М., ред. *Большая советская энциклопедия*. М.; 1969.

References

1. Brynjolfsson E., McAfee A. The second machine age: work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. W.W. Norton & Company, Inc. New York. 2014.
2. Stone P., Brooks R., Brynjolfsson E., Calo R., Etzioni O., Hager G., et al. Artificial intelligence and life in 2030. One hundred year study on artificial intelligence (AI100). Report of the 2015–2016 study panel. Stanford: Stanford University; 2016. Available at: <https://ai100.stanford.edu/2016-report>
3. Agrawal A., Gans J., Goldfarb A. *Prediction Machines: The Simple Economics of Artificial Intelligence*. Harvard: Harvard Business Review Press; 2018.
4. Executive summary World Robotics 2018 Industrial Robots. Available at: https://ifr.org/downloads/press2018/Executive_Summary_WR_2018_Industrial_Robots.pdf
5. The AI Index 2019 Annual Report. Stanford; 2019. Available at: <https://hai.stanford.edu/ai-index/2019>
6. Savel'ev A.V. Cooperative neuromechanical robotics. *Neurokomp'yutery: razrabotka, primeneniye*. 2019; 21(4): 38–44. <https://doi.org/10.18127/j19998554-201904-07> (in Russian)
7. Hermann M., Pentek T., Otto B. Design principles for Industrie 4.0 scenarios. In: *49th Hawaii International Conference (HICSS)*. Koloa; 2016: 3928–37. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.488>
8. Carbonero F., Ernst E., Weber E. *Robots worldwide: The impact of automation on employment and trade*. Research Department Working Paper No. 36. Geneva: International Labour Office; 2018.
9. Estolatan E., Geuna A., Guerzoni M., Nuccio M. Mapping the evolution of the robotics industry: a cross country comparison. Innovation policy white paper, series 2018-02. Available at: <https://munkschool.utoronto.ca/ipf/files/2018/07/robots-final-Jul11.pdf>
10. Bogdanowicz M., Desruelle P., eds. A Helping Hand for Europe: The Competitive Outlook for the EU Robotics Industry. JRC Scientific and technological reports. EUR 24600 EN. Seville; 2010. Available at: http://www.eurosfair.prdf.fr/7pc/doc/1290673085_eu_robotics_industry_jrc61539.pdf
11. A review on the future of work: robotics. Discussion paper. European agency for safety and health at work. Bilbao, Spain; 2015.
12. Stacey N., Ellwood P., Bradbrook S., Reynolds J., Williams H. Key trends and drivers of change in information and communication technologies and work location: Foresight on new and emerging risks in OSH. Working report. European agency for safety and health at work. Luxembourg: Publications Office of the European Union; 2017. <https://doi.org/10.2802/807562>
13. Digitalisation and occupational safety and health (OSH). An EU-OSHA research programme. European agency for safety and health at work. Bilbao, Spain; 2019. Available at: <https://osha.europa.eu/en/publications/digitalisation-and-occupational-safety-and-health-osh-eu-osha-research-programme/view>
14. Hsiao H. Robotics applications in the workplace: An occupational safety and health perspective; 2017 Available at: https://blogs.cdc.gov/niosh-science-blog/2017/12/05/robot_safety_conf/
15. Bukhtiyarov I.V., Denisov E.I. Analysis of NIOSH (USA) materials on research priorities for industrial robots and comments on it. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2020; 60(1): 4–11. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2020-60-1-4-11> (in Russian)
16. Decker M., Fischer M., Otte I. Service robotics and human labor: a first technology assessment of substitution and cooperation. *Rob. Auton. Syst.* 2017; 87: 348–54. <https://doi.org/10.1016/j.robot.2016.09.017>
17. Fazekas G., Dupourque V., Salle D., Dénes Z. Service robots as helpers of reintegration. *Internat. J. Rehabil. Res.* 2009; 32: 73–4. <https://doi.org/10.1097/00004356-200908001-00096>
18. Riek L.D. Healthcare Robotics. *Communications of the ACM*. 2017; 60(11): 68–78. <https://doi.org/10.1145/3127874>
19. World Bank. World report on disability: Main report (English). Washington, DC: World Bank; 2011. Available at: <http://documents.worldbank.org/curated/en/665131468331271288/Main-report>
20. Turja T., Van Aerschot L., Särkikoski T., Oksanen A. Finnish healthcare professionals' attitudes towards robots: Reflections on a population sample. *Nurs. Open*. 2018; 5(3): 300–9. <https://doi.org/10.1002/nop2.138>
21. Wolbring G., Yumakulov S. Social robots: views of staff of a disability service organization. *Int. J. Soc. Robotics*. 2014; (6): 457–68. <https://doi.org/10.1007/s12369-014-0229-z>
22. Brynjolfsson E., Saunders A. What the GDP gets wrong (Why managers should care). *MIT Sloan Management Review*. 2009; 51(1): 95–6.
23. Matthias B., Reisinger T. Example Application of ISO/TS 15066 to a Collaborative Assembly Scenario. 47th International Symposium on Robotics (ISR 2016). Munich, Germany; 2016. Available at: https://www.researchgate.net/publication/310951754_Example_Application_of_ISOTS_15066_to_a_Collaborative_Assembly_Scenario
24. Ferraguti F., Villa R., Talignani L.C., Zanchettin A.M., Rocco P., Secchi C. A unified architecture for physical and ergonomic human-robot collaboration. *Robotica*. 2013; 38(4): 669–83. <https://doi.org/10.1017/S026357471900095X>
25. Safety in the use of industrial robots. OSH Series, No. 60. Geneva: ILO; 1989.
26. Eremín A.L. The impact of the information environment on public health. *Problemy sotsial'noy gigiyeny, zdravookhraneniya i istorii meditsiny*. 2000; (6): 21–4. (in Russian)
27. Atkinson D.J., Clark M.H. Methodology for study of human-robot social interaction in dangerous situations. In: *Proceedings of the Second International Conference on Human-Agent Interaction*. Tsukuba, Japan; 2014: 371–6.
28. Stepanyan I.V. User interfaces, biomechanics and operators health. *Neurokomp'yutery: razrabotka, primeneniye*. 2019; 21(4): 22–8. <https://doi.org/10.18127/j19998554-201904-05> (in Russian)
29. Bukhtiyarov I.V., Denisov E.I., Eremín A.L. Bases of information hygiene: concepts and problems of innovation. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2014; 93(4): 5–9. (in Russian)
30. Denisov E.I. Robots, artificial intelligence, augmented and virtual reality: ethical, legal and hygienic issues. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(1): 5–10. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-1-5-10> (in Russian)
31. Eremín A.L. From the strategy of the information society to information hygiene. In: *Proceedings of XII All-Russian Congress of Hygienists and Sanitary Doctors. Volume 2 [Materialy XII Vserossiyskogo s'ezda gigienistov i sanitarnykh vrachey. Tom 2]*. Moscow; Dashkov I K; 2017: 256–9. (in Russian)
32. Gudinova Zh.V., Gegechkori I.V., Tol'kova E.I., Zhernakova G.N., Ovchinnikova E.L. On the issue of developing the basics of information hygiene. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2014; (3): 541–7. (in Russian)
33. Leonova M.K. Investigation of the influence of bio-acoustic correction on intellectual performance. *Neurokomp'yutery: razrabotka, primeneniye*. 2019; 21(4): 29–37. <https://doi.org/10.18127/j19998554-201904-0> (in Russian)
34. Solomay T.V. Introduction of new technologies: from new risk factors to new diseases of workers. *Sanitarnyy vrach*. 2019; (7): 11–6. (in Russian)
35. Scientific school «Neurocomputers in information hygiene - a new direction in preventive medicine in the digital age». *Neurokomp'yutery: razrabotka, primeneniye*. 2019; 21(4): 5–8. <https://doi.org/10.18127/j19998554-201904-01> (in Russian)
36. Samant Y., Husberg W., Falk M., Mattila-Wiro P., Starren A., Steijn W., et al. Summary report. Workshop on digitalization: Future of work and occupational safety and health: From a Nordic approach towards a global coalition. Working on Safety Meeting. Vienna; 2019. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/336411694>
37. Чапек Карел. In: Prokhorov A.M., ed. *Great Soviet Encyclopedia [Bol'shaya sovetskaya entsiklopediya]*. Moscow; 1969. (in Russian)