

НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

УДК 338.32

DOI: 10.26730/2587-5574-2022-3-39-49

**НОВАЯ ФОРМА СОЕДИНЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА И МАШИНЫ
В МОДЕЛИ ПРОИЗВОДСТВА ИНДУСТРИИ 5.0**

Гасанов Э.А.

Хабаровский государственный университет экономики и права



Информация о статье

Поступила:

25 Августа 2022 г.

Одобрена после рецензирования:

21 Сентября 2022 г.

Принята к публикации:

19 Октября 2022 г.

Ключевые слова: Индустрия 5.0, Индустрия 4.0, искусственный интеллект, человекоцентричная модель, эмпатичное управление

Аннотация.

Пятая промышленная революция, предпосылки которой сегодня «прорастают» из достижений Четвертой промышленной революции (Интернет вещей, «умные» роботы и «умные» сенсоры, машинное видение и обучение, искусственный интеллект и нейросети), отличается прежде всего инновационными изменениями в организации производства в целом и труда людей в частности. Эти изменения проявляются в переходе от контроля над машинами к командным взаимодействиям людей и «умных» роботов, в развитии эмпатичного управления средствами производства, в формировании интегрированного «человеко-машинного» интеллекта. Такое производство характерно для Индустрии 5.0, переход к которой ожидается во второй половине 21 в. Предметом исследования являются особенности соединения человека и машины в модели человекоцентричного производства Индустрии 5.0. Гипотеза исследования заключается в том, что переход к Индустрии 5.0 невозможен без становления человекоцентричной модели производства, в которой целью деятельности человека становится его благополучие, а не производственно-экономические индикаторы, и должно получить развитие эмпатичное управление в команде «человек-машина». Для определения пути перехода к такой модели управления производством в рамках Индустрии 5.0 в статье представлен механизм формирования проактивной системы взаимодействий «человек-машина».

Для цитирования: Гасанов Э.А. Новая форма соединения человека и машины в модели производства Индустрии 5.0 // Экономика и управление инновациями. 2022. № 3 (22). С. 39-49. DOI: 10.26730/2587-5574-2022-3-39-49

**A NEW FORM OF HUMAN AND MACHINE CONNECTION IN THE INDUSTRY 5.0
PRODUCTION MODEL**

Eyvaz A. Gasanov

Khabarovsk State University of Economics and Law



Article info

Submitted:

25 August 2022

Approved after reviewing:

21 September 2022

Accepted for publication:

19 October 2022

Abstract.

The Fifth Industrial Revolution, the prerequisites of which today “sprout” from the achievements of the Fourth Industrial Revolution (Internet of Things, “smart” robots and “smart” sensors, machine vision and learning, artificial intelligence and neural networks), is distinguished, first of all, by innovative changes in the organization of production in general and human labor in particular. These changes are manifested in the transition from control over machines to team interactions of people and “smart” robots, in the development of empathic control of the means of production, in the formation of an integrated “man-machine” intelligence. Such production is typical for Industry 5.0, the transition to which is expected in the second half of the 21st century. The subject of the research is the features of the connection between man and machine in the model of human-centric production of Industry 5.0. The

Keywords:

Industry 5.0, Industry 4.0, artificial intelligence, human-centric model, empathic management

hypothesis of the study is that the transition to Industry 5.0 is impossible without the formation of a human-centric model of production, in which the goal of human activity is his well-being, and not production and economic indicators, and empathic management in the “man-machine” team should be developed. To determine the path of transition to such a production management model within Industry 5.0, the article presents a mechanism for the formation of a proactive system of human-machine interactions.

For citation: Gasanov E.A. A new form of human and machine connection in the Industry 5.0 production model. *Economics and Innovation Management*, 2022, no. 3 (22), pp. 39-49. DOI: 10.26730/2587-5574-2022-3-39-49

1 Introduction / Введение

Наблюдаемый постепенный отход экономической науки и практики от опоры на ВВП как сверх универсальный индикатор экономического развития [1] был зафиксирован в 2019 г. Организацией экономического сотрудничества и развития в программе «Экономики благосостояния» [2] как один из ряда показателей, в конечном итоге связанных с благополучием. При этом в последние годы достаточно широко распространено мнение о том, что для того, чтобы обеспечить благополучие в долгосрочном периоде, необходимы новые технологические переходы и прорывной подъем производительности труда [3-5]. Примером понимания такой задачи, стоящей перед наукой и обществом, является принятие в 2021 г. инициативы Европейского союза «Индустрия 5.0» [6].

С точки зрения методологии настоящего этапа научно-технического прогресса (Индустрия 4.0) [7], развивающегося с конца 1990-х гг., основные исследования источников и факторов роста производительности труда, равно как и возрастания благополучия общества, концентрируются в области потребления и экономии невозобновляемых ресурсов [8], появления машин нового типа, оснащенных искусственным интеллектом [9], а также взаимодействия человека и машин [10] в контексте автоматизации и роботизации промышленности.

В рамках дискуссий относительно перспектив перехода к Индустрии 5.0 центральным вопросом для обсуждения является производство, ориентированное на человека, возможности и границы его развития, а также переосмысление производственных систем – как традиционных (механических), так и инновационных (цифровых). В частности, Л. Юкиан, Х. Жен, С. Чан и др. считают, что ориентированное на человека производство на современном заводе реализуется как ориентированное на человека взаимодействие с производственной средой на уровне машин и операционных связей с ними [11]. По мере развития технологий и изменения роли человека в производстве интерфейс взаимодействия людей и машин принимает различные формы, такие как взаимодействие между людьми и производственным оборудованием, между людьми и роботами с искусственным интеллектом, между людьми и «умными роботами» [12].

Тем не менее, в экономической среде не просматривается общее понимание сути интеллектуально-интеллектуализированного производства, ориентированного на человека, которое, очевидно, должно иметь двустороннюю эмпатию, проактивную коммуникацию и совместный (машинно-человеческий) интеллект для создания сверх высокопроизводительных систем «человек-«умная машина» [13].

2 Materials and Methods / Материалы и методы

Современные производственные системы, все больше наделяемые искусственным интеллектом, стремятся максимизировать производительность и эффективность, ограничивая людей «доработанными ролями», чтобы не отставать от автоматизированных производственных систем конца 20 в. [14]. Новая повсеместная системно-ориентированная автоматизация стимулирует значительный рост производительности, однако в последние годы его динамика замедлилась, несмотря на различные технологические инновации в последние десятилетия [15].

Вместе с этим в экономической среде набирают силу идеи перехода к устойчивому экономическому росту, занятости и благополучию вместо роста, ориентированного только на ВВП [16]. В частности, Индустрия 5.0 признает «... силу промышленности в достижении социальных целей, помимо рабочих мест и роста, в том, чтобы стать устойчивым источником процветания,

заставляя производство уважать границы нашей планеты и ставя благополучие отраслевого работника в центр производства» [6]. Т.н. «человекоцентричный подход» в Индустрии 5.0 ставит основные человеческие потребности и интересы в основу производственного процесса, переходя от технологического прогресса к полностью ориентированному на человека и общество подходу. В результате в промышленности возникнут новые роли по мере смещения ценности видения работников с «источника затрат» на «инвестиции».

Справедливым является утверждение о том, что технологии должны служить людям и обществу, а это означает, что технология, используемая в производстве, адаптируется к разнообразию потребностей работников [14]. Это означает, что необходимо создать безопасную среду сохранения физического и психического здоровья работников, защитить их основные права, в т.ч. неприкосновенность частной жизни, которая все более подвергается опасным киберугрозам в эпоху Индустрии 4.0.

Основной принцип человекоцентричности заключается в том, что «... человек никогда не должен подчиняться машинам и автоматике, а машины и автоматика должны подчиняться человеку» [17]. Производство, ориентированное на человека, должно выходить за рамки «традиционного человеческого фактора», который означает, что усилия исследователей должны быть сосредоточены на повышении производительности здоровым и безопасным образом до более высокого гуманистического уровня, такого как когнитивное и психологическое благополучие, баланс между работой и личной жизнью [18]. На практике производство, ориентированное на человека, ставит его благополучие в центр производственных систем и процессов, обеспечивая безопасную, комфортную и мотивирующую среду для работы, обучения и роста, тем самым создавая благотворный круг, в котором индивидуальное благополучие и устойчивый рост производства взаимно усиливают друг друга.

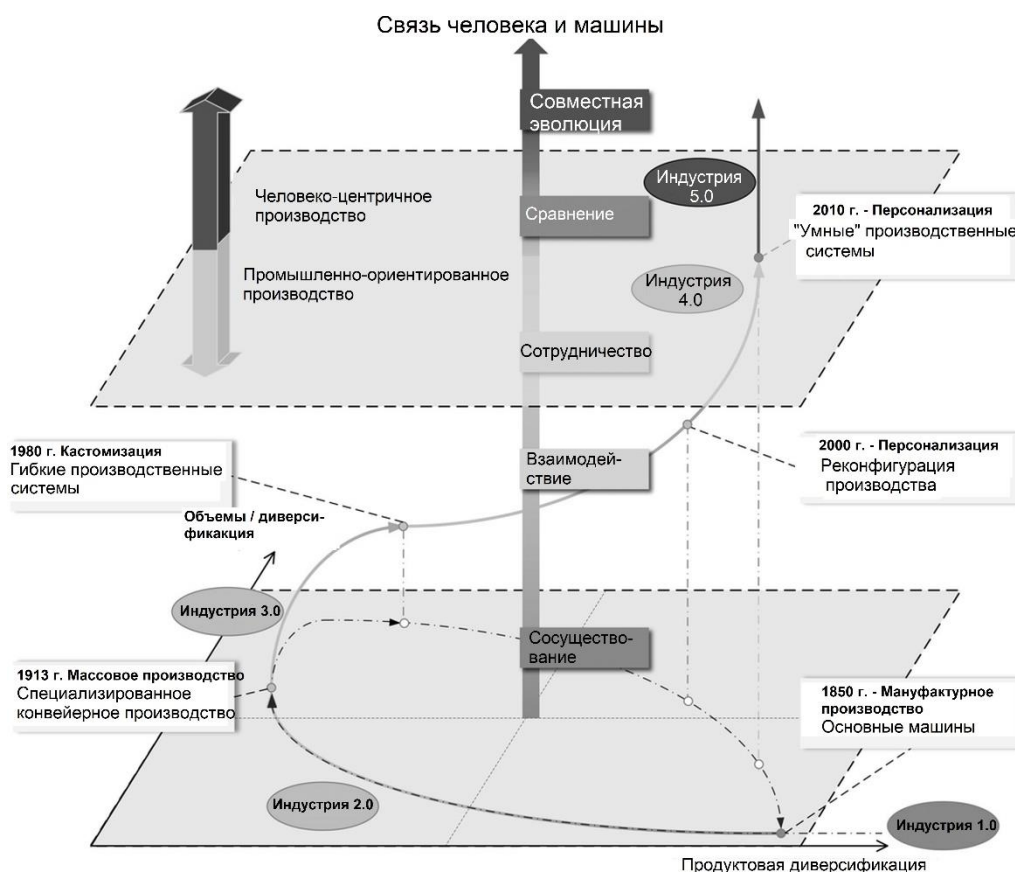


Рис. 1. Развитие соединения человека и машин на этапах различных промышленных революций [11]

Fig. 1. The development of the connection between man and machine on many different industrial revolutions [11]

В преддверии перехода от Индустрии 4.0 к Индустрии 5.0 парадигма развития промышленного производства претерпела значительные изменения благодаря преобразующим технологическим достижениям, накопленным в ходе предыдущих промышленных революций. Как показано на Рис. 1, ремесленное производство до Первой промышленной революции означало выпуск персонализированных изделий малыми партиями с высокими удельными издержками и низкой эффективностью [11.]. Это было изменено массовым производством, которое стало возможным благодаря конвейерным производственным линиям во время Второй промышленной революции. В ходе Третьей промышленной революции появились компьютеры, которые дали предприятиям программируемые логические контроллеры, гибкие производственные системы, что привело к массовому индивидуальному выпуску потребительских товаров. С наступлением Четвертой промышленной революции (Индустрия 4.0) произошла массовая персонализация промышленности (гибкое производство высококачественных персонализированных продуктов с высокой эффективностью). Это стало возможным благодаря связям продавцов и покупателей в режиме реального времени, а также гибкому взаимодействию между производителями в т.н. «интеллектуальных производственных системах» [19].

Рис. 1 наглядно отражает трансформацию роли человека в производстве, что особо ясно видно на примере Индустрии 5.0. Переход к выпуску персонализированной продукции с уникальными ценностями требует творческого подхода к ее разработке, подкрепленной сверх гибкой автоматизацией производства. Это означает, что Индустрия 5.0, движимая потребностями общества, еще больше усиливает ключевую роль человека в производстве.

Вместе с промышленными революциями, указанными на Рис. 1, и изменениями производственной парадигмы развиваются связи человека и машины, т.н. «трансформация 5С»: сосуществование, сотрудничество, со-чувствие, сострадание и совместная эволюция. Ряд авторов описывает эту 5С-трансформацию следующим образом [11]: во время Первой и Второй промышленных революций (19-начало 20 в.) машины поставлялись на фабрики, функционируя в рамках отношений сосуществования с людьми, в которых машины были простыми инструментами для людей. Во время Третьей промышленной революции (2-я половина 20 в.) гибко настраиваемое оборудование и производственные линии образовали интегрированную систему «человек-машина» для стандартизированных производственных процессов. В Индустрии 3.0 люди и машины имеют частично перекрывающееся рабочее пространство и иногда временно делят некоторые из своих физических, когнитивных и вычислительных ресурсов, но не работают одновременно над одной и той же задачей. В Индустрии 4.0 машины, снабженные искусственным интеллектом, работают с людьми в общем функциональном пространстве с единой целью, синхронизируют совместные действия со всеми сторонами в рамках общей командной идентичности [20].

Переход к производству, ориентированному на человека, с разворачивающейся технологической NBIC-конвергенцией и развивающимся искусственным интеллектом, сопровождается тем, что эмпатичные машины, которые чувствуют человеческие эмоции, потребности и предпочтения, могут оказывать ситуационную помощь людям в дополнение к ситуативному сотрудничеству; в свою очередь, люди активно следят за «здоровьем» эмпатичных машин и заботятся о них [17]. Это представляет собой новую главу в отношениях человека и машины — сострадание человека к машине; более того, тесное взаимодействие человека и машины в конечном итоге позволит как людям, так и машинам наращивать свои возможности, что приведет к непрерывной совместной эволюции людей и машин в будущем [11.].

3 Results and Discussion / Результаты и обсуждение

В системе Индустрии 5.0 люди и машины будут образовывать интеллектуальные команды, позволяющие коллективно воспринимать, анализировать информацию, реагировать на производственные задачи, чтобы обеспечить сверхвысокую производительность и безопасность труда. Согласно Ю. Лу, Дж.С. Абрадос, С.С. Чанг, Л. Вонг, [14], модель интеллектуальной команды людей и машин подчеркивает:

- человекоцентризм как способность сосредоточиться на потребностях и суждениях людей;
- императив социального благополучия как способность обнаруживать физические и умственные способности человека, реагировать на них так, чтобы максимизировать благополучие людей;
- адаптивность – способность учиться у окружающей среды и изменять поведение на основе

этого обучения.

Предоставление машине в команде человек-машина возможности непрерывно определять состояния человека – это первый шаг к формированию симбиоза человека-машины. Внутренние состояния человека можно смоделировать как комбинацию трех различных состояний: физического, когнитивного и психологического [21].

Когнитивное состояние в значительной степени влияет на благополучие человека и производительность команды «человек-«умная» машина», поскольку когнитивные задачи становятся повсеместными в современном производстве. Моделирование и мониторинг умственной нагрузки стали центральной темой оптимизации когнитивного состояния промышленных рабочих и повышения производительности труда [22]. В целом иерархия взаимодействий человека и «умной» машины в свете иерархии потребностей А. Маслоу отражена на Рис. 2.

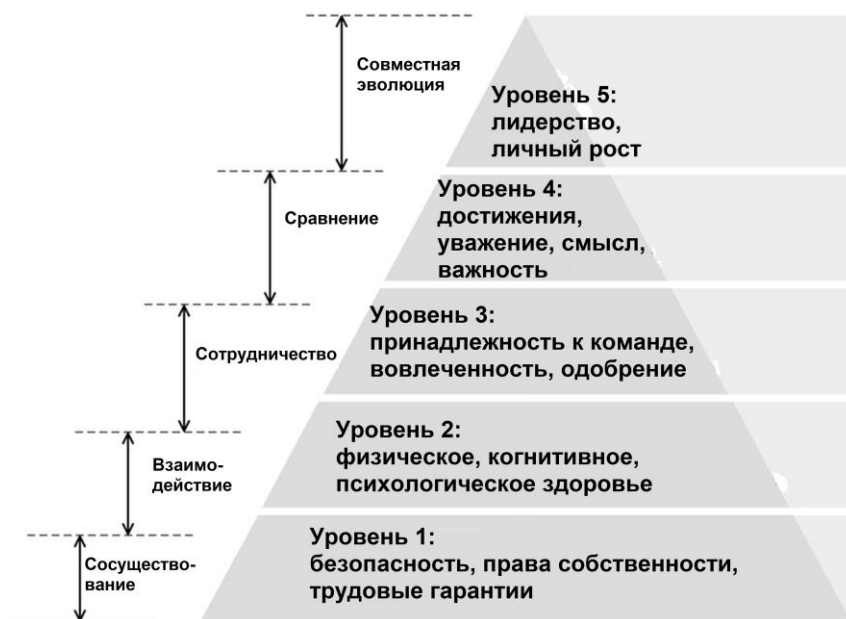


Рис. 2. Иерархия связей человека и машины в Индустрии 5.0 в соответствии с «пирамидой потребностей» А. Маслоу [11]

Fig. 2. Hierarchy of connections between man and machine in Industry 5.0 in accordance with the “pyramid of needs” by A. Maslow [11]

Другой аспект формирования команды «человек-«умная» машина» – понимание людских намерений. В ориентированном на человека производстве эмпатичные машины должны активно сотрудничать с людьми на основе понимания искусственным интеллектом человеческих намерений и согласовываться с долгосрочными устремлениями и мотивами человека на протяжении всей производственной деятельности. По мнению Р.Д. Чарльза, Дж. Никсона, понимание человеческих намерений можно разделить на две категории [22]:

- краткосрочное – восприятие тех операций, которые люди хотят, чтобы машины выполняли, или цели, которых люди хотят достичь в производственной деятельности;
- долгосрочное – восприятие человеческого стремления к уважению, продвижению по службе и повышению квалификации.

Такое эмпатическое взаимопонимание между людьми и машинами прокладывает путь к формированию интегрированного человеко-машинного интеллекта. Однако не секрет, что технологические прорывы в области искусственного интеллекта зачастую отпугивают работников, заставляя их поверить в то, что они лишат людей рабочих мест [23]. Вместе с тем в условиях командного взаимодействия человека и машины возникает партнерство, которое оптимизирует производительность труда в долгосрочном периоде.

Следует согласиться с теми авторами, которые считают, что в основе Индустрии 5.0 лежит т.н. «экономика знаний» [24], поскольку человекоцентричное производство означает непрерыв-

ное получение новых знаний людьми (образование) и машинами (программирование и самообучение): «люди и машины должны в полной мере использовать собственные знания и учиться друг у друга» [25]. Знания, развиваемые и передаваемые в системе «человек-человек», работники расширяют с помощью различных источников обучения, тогда как в системе «человек-машина» «умные» роботы воспринимают человеческие знания, работая с людьми, обеспечивая их безопасность и снижая нагрузку за счет понимания намерений и потребностей людей. Кроме того, люди, взаимодействуя в команде с «умными» машинами, получают новые созданные ими знания (например, программный комплекс RoboGrammar [26] может проектировать новых роботов с помощью искусственного интеллекта, и эти знания могут быть переданы инженерам). Вместе с тем такая передача знаний затруднена из-за плохой интерпретируемости людьми методов машинного обучения и затруднений восприятия людьми человеко-машинных интерфейсов.

Напротив, машины постоянно получают свои знания из различных источников (от людей – программирование, и окружающей среды – «умные» сенсоры, машинное видение и обучение) и делятся ими с другими машинами для достижения синергии. В этом процессе происходит маршрутизация передачи знаний между машинами одного типа для выполнения одной и той же задачи, и она является простой. Проблемы остаются в передаче знаний и адаптации между одинаковыми машинами для выполнения разных задач или даже между машинами разных типов. В настоящее время перспективными методами межмашинной передачи знаний являются: самоконфигурация (осмысленная настройка одними машинами других), самооптимизация (корректировка планов взаимодействия людей и машин для достижения максимальной производительности), а также самовосстановление (поддержание оптимального состояния при возникновении колебаний с минимальным вмешательством человека).

Сдерживающим фактором для распространения самообучения, самооптимизации и самовосстановления машин в ходе развертывания Индустрии 5.0 выступают стратегии управления производством, реализуемые на предприятиях, которые жестко предписывают операторам машин и механизмов роли и задачи, продиктованные их профессиями. В качестве прорыва взаимодействия человека и машин выделяют интеллектуальные и гибкие стратегии управления процессом взаимодействия человека и машины в рамках смешанной инициативы для распределения полномочий по принятию решений [27].

Достижение самоорганизующейся автономии возможно только в командах «человек-машина», где люди и «умные» роботы могут взаимно адаптироваться к поведению и намерениям друг друга, повышая эффективность выполнения задач и скорость само- и взаимообучения. Однако внутренние состояния и намерения человека трудно точно распознать, что затрудняет разработку надежных методов онлайн-обучения машин, которые позволяют обновлять понимание машинами производственных задач и изменений среды в режиме реального времени. Эмпатичное взаимодействие людей и машин может быть полезным при их онлайн-обучении, с учетом уровня образования и культурного контекста операторов.

Механизм передачи знаний от людей к машинам, равно как и взаимное обучение, нацелен на глубокую персонализацию и специализацию производственных задач и включает в себя следующее [28]:

- создание обновляемого перечня производственных заданий, который поступает в команду «человек-машина». Эти элементарные производственные задания могут быть объединены для создания персонализированных производственных заданий двумя путями: определение требуемых производственных возможностей и требуемых производственных ресурсов либо создание профиля воздействия производственных результатов на физическое, когнитивное и психологическое состояние работников-операторов;

- создание цифрового двойника людей-операторов для передачи машинам моделей их действий, поведения и состояния физического и психологического здоровья. Подобные модели могут быть созданы для каждой «умной» машины, что формирует основу обоюдной эмпатии, помогающей как людям, так и «умным» машинам понимать состояние друг друга в режиме реального времени;

- оптимизация ориентированной на человека производственной системы, которая отличается от традиционного планирования и контроля производства тем, что необходимо оптимизировать здоровье человека и свободу труда, обеспечивая при этом максимально возможную производи-

тельность системы. Кроме того, алгоритмы машинного обучения, такие как многозадачное обучение с постоянным обновлением баз данных, могут обеспечить наивысшую скорость реагирования машин на изменение производственной ситуации (проактивное взаимодействие).

Структура проактивных эмпатичных взаимодействий «человек-машина» включает в себя три основных модуля (Рис. 3):

- сочетание понимания состояния человека и его потребностей (намерений);
- эмпатичное управление «умной» машиной – сочетание эмпатичных действий и механистического управления роботом для обеспечения опережающего воздействия человека в реальном времени;
- динамическое планирование производственных задач при помощи совместного человеко-машинного интеллекта для действий в непредвиденных обстоятельствах.



Рис. 3. Структура проактивной системы взаимодействий «человек-машина» в контексте Индустрии 5.0 [11]

Fig. 3. The structure of the proactive system of human-machine interactions in the context of Industry 5.0 [11]

На Рис. 3 показан модуль цифрового двойника человека, который позволяет команде «человек-машина» понимать изменения состояния человека, решающего производственные задачи совместно с машинами. Для этого требуется эмпатическое управление «умными» роботами, на которое влияет динамическое человеческое понимание и которое обеспечивает упреждающую помощь на уровне задач в зависимости от его физического, когнитивного и эмоционального состояния. На уровне отдельных процессов производственный график динамически обновляется на основе совместного человеко-машинного интеллекта. Точное и непрерывное моделирование человеческих состояний и намерений приведет к полному динамическому пониманию человека, питая эмпатические навыки, которые способствуют командным взаимодействиям человека и машины.

Такое эмпатичное управление «умными» роботами означает принятие человеком и машинами совместных действий на основе понимания ситуационных состояний и намерений человека. Свобода работника здесь проявляется в корректировке намерений и действий в зависимости от изменения ситуации и рабочих заданий. Эмпатичные «умные» роботы в свою очередь выполняют заданное человеком действие в физическом пространстве, используя планы управления смешанной инициативой, которые сочетают намерение человека с динамической оптимизацией траектории взаимодействий [29]. Эмпатичное поведение машины на уровне как выполне-

ния задач, так и их постановки обеспечивает упреждающую помощь «умного» робота для удовлетворения потребностей человека, выходящих за рамки обеспечения безопасной работы.

На уровне обеспечения рабочих процессов динамическое планирование задач относится к упреждающему распределению задач между людьми и роботами с использованием совместного интеллекта человека и робота для оптимизации здоровья человека и обработки непредвиденных обстоятельств. Система рабочих задач для команды «человек-машина» создается с учетом информации о возможностях, доступности, состоянии как машины, так и человека с учетом самоорганизации и автономии.

При переходе к человекоцентричному производству Индустрии 5.0 технологии должны работать на людей надежным и дружелюбным образом, поскольку это необходимо для создания кастомизированных продуктов. Повсеместное внедрение интеллектуальных человеко-ориентированных систем на рабочих местах во многом зависит от доверия людей к интеллектуальным технологиям. Такие технологии должны быть надежными и конфиденциальными, что создает серьезную проблему для эмпатичных машин, чтобы они действовали заслуживающим доверие образом. Отношение людей к машинам должно измениться, поскольку искусственный интеллект интегрируется в когнитивные процессы людей. Это должно сопровождаться непрерывным обучением промышленных работников интеллектуальным промышленным технологиям, открывая им лучшие возможности для карьерного роста. Технологии искусственного интеллекта в таком контексте должны были совместными, усиливающими производительность труда людей, а не заменяющими его.

Чтобы доверять решениям, принимаемым «умными» роботами, люди должны знать, как искусственный интеллект делает выводы и аргументирует свои действия. Для этого интеллектуальная система «умного» робота должна уметь объяснить, почему она дает человеку определенные рекомендации и делает корректуры к планам и рабочим задачам. Разработчики систем искусственного интеллекта также должны быть последовательны в отношении того, какую информацию они намерены получить от машин для принятия решений; они также должны иметь право отключать некоторые источники сбора данных – «умные» сенсоры.

В целом схема человекоцентричной системы производства, основанная на технологиях Индустрии 5.0, показана на Рис. 4.

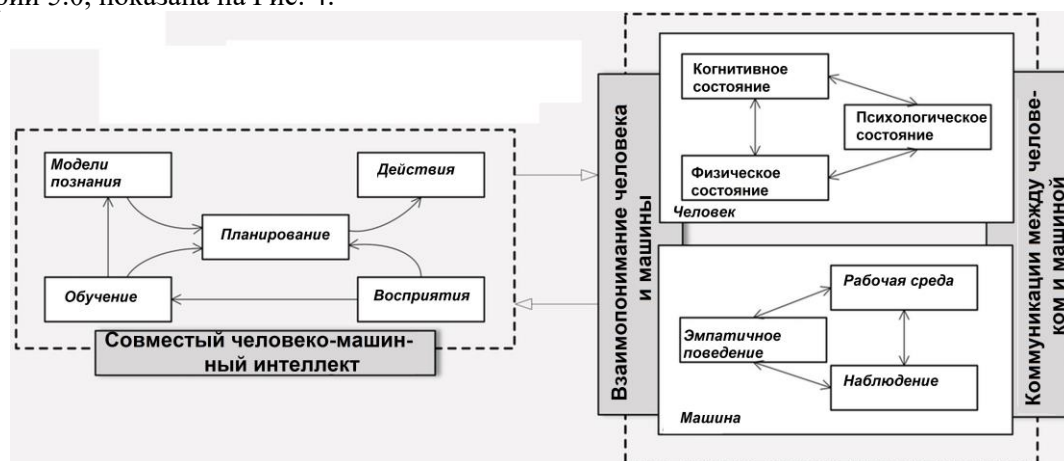


Рис. 4. Человекоцентричная производственная система Индустрии 5.0 [11]

Fig. 4. Human-centered production system Industry 5.0 [11]

В целом можно сказать, что переход от производства, ориентированного на само производство, к производству, ориентированному на человека, означает оптимизацию и динамические изменения, возникающие в результате максимального высвобождения творческих ресурсов каждого работника, высокой адаптивности «умных» роботов, быстро реагирующих на непредвиденные обстоятельства вместе с людьми.

4 Conclusion / Заключение

Сегодня, когда закладываются основы перехода от Индустрии 4.0 к Индустрии 5.0 и наме-

чаются предпосылки их сосуществования в течение определенного периода времени, человекоцентричное производство должно поставить благополучие людей, в особенности работников промышленности, в центр экономических отношений.

В ходе формирования механизма передачи знаний от людей к «умным» машинам происходит формирование команды «человек-машина», для которых формируется обновляемый перечень производственных заданий, создаются цифровые двойники людей – основа обоюдной эмпатии людей и «умных» машин, оптимизируется система смешанного человеко-машинного интеллекта для достижения максимальной производительности.

Механизм взаимодействий в системе «человек-машина» должен включать в себя формирование эмпатии машин, эмпатичное управление «умной» машиной, динамическое планирование производственных задач при человеко-машинном интеллекте.

Список источников

1. Тагаров Б.Ж. Цели реализации концепции устойчивого развития на разных уровнях экономической системы // Креативная экономика. – 2021. – №3. – С. 821-836.
2. Llena-Nozal A., Martin N., Murtin F. The economy of well-being: creating opportunities for people's well-being and economic growth. – Paris: OECD; 2019. – 88 p.
3. Городецкий А.Е. Технологический переход: экономический кризис, санкции и новая технологическая повестка дня // Экономическое возрождение России. – 2022. – №3 (73). – С. 71-88.
4. Кашапова Г.Ф., Нигматзянова Л.П. Перспективы перехода на шестой технологический уклад в России // Скиф. – 2020. – №12 (52). – С. 182-185.
5. Золотарева О.А., Дарда Е.С., Тихомирова А.В. Гуманитарно-технологическая революция: оценка состояния готовности перехода в новый технологический уклад // Вестник НГУЭУ. – 2021. – №4. – С. 55-66.
6. Breque M., De Nul L., Petridis A. Industry 5.0: towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. – Brussels: European Commission, 2021. – 48 p.
7. Мезина Т.В., Зозуля А.В., Зозуля П.В., Чернова Т.Ф., Плетнева А.В. Влияние Индустрии 4.0 на экономику и производство // Вестник университета. – 2022. – №2. – С. 71-76.
8. Romero D., Bernus P., Noran O., Stahre J., Fast-Berglund A. The Operator 4.0: human cyber-physical systems & adaptive automation towards human-automation symbiosis work systems / IFIP international conference on advances in production management systems. – New York: Springer, 2016. – pp. 677-86.
9. Пороховский А.А. Цифровизация и искусственный интеллект: перспективы и вызовы // Экономика. Налоги. Право. – 2020. – №2. – С. 84-91.
10. Wang L., Gao R., Vancza J., Kruger J., Wang X.V., Makris S. Symbiotic human-robot collaborative assembly // CIRP Annually. – 2019. – Vol. 68. – pp. 701-726.
11. Yuqian L., Zheng H., Chand S., Xia W., Liu Z., Xu X., Wang L., Qin Zh., Bao J. Outlook on Human-Centric Manufacturing towards Industry 5.0 // Journal of Manufacturing Systems. – 2022. – Vol. 62. – pp. 612-627.
12. Смирнов А.В., Тесля Н.Н. Децентрализованное планирование действий коалиции роботов на основе использования умных контрактов // Труды Кольского научного центра РАН. – 2020. – №8-11. – С. 155-161.
13. Гаврилина Е.А. Как люди взаимодействуют с роботами: между теоретическими поисками и эмпирическими исследованиями // Технологос. – 2020. – №2. – С. 5-14.
14. Lu Y., Adrados J.S., Chand S.S., Wang L. Humans are not machines – anthropocentric human-machine symbiosis for ultra-flexible smart manufacturing // Engineering. – 2021. – Vol. 7. – pp. 734-737.
15. Дегтярев К.С. Динамика мирового энергопотребления в XX-XXI вв. и прогноз до 2100 года // Окружающая среда и энергоснабжение. – 2020. – №2. – С. 35-48.
16. Romero D., Stahre J. Towards the resilient operator 5.0: the future of work in smart resilient manufacturing systems // Procedia CIRP. – 2021. – Vol. 104. – pp. 1089-1094.
17. Rosenbrock H.H. Machines with a purpose. Oxford: Oxford University Press, 1990. – 143 p.
18. Отставнова Л.А. Исследовательские подходы к анализу отношений «Человек производство» // Russian Journal of Economics and Law. – 2014. – №2 (30). – С. 17-24.
19. Lu Y., Xu X., Wang L. Smart manufacturing process and system automation – a critical review of the standards and envisioned scenarios // Journal of Manufacturing Systems. – 2020. – Vol. 56. – pp. 312-325.
20. Козлова Г.Г., Арбузова Т.А. Влияние Индустрии 4.0 на промышленные предприятия // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2021. – №4-3. – С. 23-28.
21. Young M.S., Brookhuis K.A., Wickens C.D., Hancock P.A. State of science: mental workload in ergonomics // Ergonomics. – 2015. – Vol. 58. – pp. 1-17.
22. Charles R.L., Nixon J. Measuring mental workload using physiological measures: a systematic review // Applied Ergonomics. – 2019. – Vol. 74. – pp. 221-232.
23. Frank M., Roehrig P., Pring B. What to do when machines do everything: How to get ahead in a world of AI, algorithms, bots, and big data. – London: John Wiley & Sons, 2017. – 211 p.

24. Тюкавкин И.Н. Экономика знаний // Вестник СамГУ. – 2014. – №6 (117). – С. 145-150.
25. Li G., Yuan C., Kamarthi S., Moghaddam M., Jin X. Data science skills and domain knowledge requirements in the manufacturing industry: a gap analysis // Journal of Manufacturing Systems. – 2021. – Vol. 60. – pp. 692-706.
26. Zhao A., Xu J., Konakovic-Lukovic M., Hughes J., Spielberg A., Rus D. RoboGrammar: graph grammar for terrain-optimized robot design // ACM Trans Graph (TOG). – 2020. – Vol. 39. – pp. 1-16.
27. Wang L., Haghighi A. Combined strength of holons, agents and function blocks in cyber-physical systems // Journal of Manufacturing Systems. – 2016. – Vol. 40. – pp. 25-34.
28. Lu Y., Liu C., Wang K., Huang H Xu X. Digital Twin-driven smart manufacturing: connotation, reference model, applications and research issues // Robotized, Computerized and Integrated Manufacture. – 2020. – Vol. 61. – pp. 101837.
29. Mainprice J., Berenson D. Human-robot collaborative manipulation planning using early prediction of human motion // Proceedings of the IEEE international conference on intelligent robots and systems. – 2013. – Vol. 1. – pp. 299-306.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© 2022 Авторы. Издательство Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева. Эта статья доступна по лицензии Creative Commons «Attribution» («Атрибуция») 4.0 Всемирная (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Авторы

Гасанов Эйваз Али оглы – доктор экономических наук, заведующий кафедрой экономической теории, Хабаровский государственный университет экономики и права, 680042 г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 134, e-mail: economic@ael.ru

References

1. Tagarov B.Zh. Celi realizacii koncepcii ustojchivogo razvitija na raznyh urovnjah jekonomicheskoj sistemy [Goals of implementing the concept of sustainable development at different levels of the economic system]. Kreativnaja jekonomika = Creative Economy. 2021. Vol. 3. pp. 821-836.
2. Llena-Nozal A., Martin N., Murtin F. The economy of well-being: creating opportunities for people's well-being and economic growth. Paris: OECD; 2019. 88 p.
3. Gorodeckij A.E. Tehnologicheskij perehod: jekonomicheskij krizis, sankcii i novaja tehnologicheskaja povestka dnja [Technological transition: economic crisis, sanctions and new technological agenda]. Jekonomicheskoe vozrozhdenie Rossii = Economic revival of Russia. 2022. Vol. 3 (73). pp. 71-88.
4. Kashapova G.F., Nigmatzjanova L.R. Perspektivy perehoda na shestoj tehnologicheskoj ukklad v Rossii [Prospects for the transition to the sixth technological order in Russia]. Skif. 2020. Vol. 12 (52). pp. 182-185.
5. Zolotareva O.A., Darda E.S., Tihomirova A.V. Gumanitarno-tehnologicheskaja revo-ljucija: ocenka sostojanija gotovnosti perehoda v novyj tehnologicheskij ukklad [Humanitarian-technological revolution: assessing the state of readiness for the transition to a new technological order]. Vestnik NGUJeU = Bulletin of NSUEM. 2021. Vol. 4. pp. 55-66.
6. Breque M., De Nul L., Petridis A. Industry 5.0: towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. Brussels: European Commission, 2021. 48 p.
7. Mezina T.V., Zozulja A.V., Zozulja P.V., Chernova T.F., Pletneva A.V. Vlijanie Industrii 4.0 na jekonomiku i proizvodstvo [Influence of Industry 4.0 on the economy and production]. Vestnik universiteta = Bulletin of the University. 2022. Vol. 2. pp. 71-76.
8. Romero D., Bernus P., Noran O., Stahre J., Fast-Berglund A. The Operator 4.0: human cyber-physical systems & adaptive automation towards human-automation symbiosis work systems / IFIP international conference on advances in production management systems. New York: Springer, 2016. pp. 677-86.
9. Porhovskij A.A. Cifrovizacija i iskusstvennyj intellekt: perspektivy i vyzovy [Digitalization and artificial intelligence: prospects and challenges]. Jekonomika. Nalogi. Pravo. = Economics. Taxes. Law. 2020. Vol. 2. pp. 84-91.
10. Wang L., Gao R., Vancza J., Kruger J., Wang X.V., Makris S. Symbiotic human-robot collaborative assembly. CIRP Annually. 2019. Vol. 68. pp. 701-726.
11. Yuqian L., Zheng H., Chand S., Xia W., Liu Z., Xu X., Wang L., Qin Zh., Bao J. Outlook on Human-Centric Manufacturing towards Industry 5.0. Journal of Manufacturing Systems. 2022. Vol. 62. – pp. 612-627.
12. Smirnov A.V., Teslja N.N. Decentralizovannoe planirovanie dejstvij koalicii robotov na osnove ispol'zovanija umnyh kontraktov [Decentralized planning of actions of a coalition of robots based on the use of smart contracts]. Trudy Kol'skogo nauchnogo centra RAN Proceedings of the Kola Scientific Center of the Russian = Academy of Sciences. 2020. Vol. 8-11. pp. 155-161.

13. Gavrilina E.A. Kak ljudi vzaimodejstvujut s robotami: mezhdru teoreticheskimi poiskami i jempiricheskimi issledovanijami [How people interact with robots: between theoretical research and empirical research]. *Tehnologos*. 2020. Vol. 2. pp. 5-14.
14. Lu Y., Adrados J.S., Chand S.S., Wang L. Humans are not machines – anthropocentric human-machine symbiosis for ultra-flexible smart manufacturing. *Engineering*. 2021. Vol. 7. pp. 734-737.
15. Degtjarev K.S. Dinamika mirovogo jenergotreblenija v XX-XXI vv. i prognoz do 2100 goda [Dynamics of world energy consumption in the XX-XXI centuries. and forecast up to 2100]. *Okruzhajushhaja sreda i jenergovedenie = Environment and energy science*. 2020. Vol. 2. pp. 35-48.
16. Romero D., Stahre J. Towards the resilient operator 5.0: the future of work in smart resilient manufacturing systems. *Procedia CIRP*. 2021. Vol. 104. pp. 1089-1094.
17. Rosenbrock H.H. *Machines with a purpose*. Oxford: Oxford University Press, 1990. 143 p.
18. Ostavnova L.A. Issledovatel'skie podhody k analizu otnoshenij «Chelovek proizvodstvo» [Ostavnova L.A. Research approaches to the analysis of the relationship "Human production"]. *Russian Journal of Economics and Law*. 2014. Vol. 2 (30). pp. 17-24.
19. Lu Y., Xu X., Wang L. Smart manufacturing process and system automation – a critical review of the standards and envisioned scenarios. *Journal of Manufacturing Systems*. 2020. Vol. 56. pp. 312-325.
20. Kozlova G.G., Arbuzova T.A. Vlijanie Industrii 4.0 na promyshlennye predpriyatija [Impact of Industry 4.0 on industrial enterprises]. *Mezhdunarodnyj zhurnal gumanitarnyh i estestvennyh nauk = International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2021. №4-3. pp. 23-28.
21. Young M.S., Brookhuis K.A., Wickens C.D., Hancock P.A. State of science: mental workload in ergonomics. *Ergonomics*. 2015. Vol. 58. pp. 1-17.
22. Charles R.L., Nixon J. Measuring mental workload using physiological measures: a systematic review. *Applied Ergonomics*. 2019. Vol. 74. pp. 221-232.
23. Frank M., Roehrig P., Pring B. *What to do when machines do everything: How to get ahead in a world of AI, algorithms, bots, and big data*. London: John Wiley & Sons, 2017. 211 p.
24. Tjukavkin I.N. Jekonomika znaniy [Knowledge Economy]. *Vestnik SamGU = Bulletin of SamSU*. 2014. Vol. 6 (117). pp. 145-150.
25. Li G., Yuan C., Kamarthi S., Moghaddam M., Jin X. Data science skills and domain knowledge requirements in the manufacturing industry: a gap analysis. *Journal of Manufacturing Systems*. 2021. Vol. 60. pp. 692-706.
26. Zhao A., Xu J., Konakovic-Lukovic M., Hughes J., Spielberg A., Rus D. RoboGrammar: graph grammar for terrain-optimized robot design. *ACM Trans Graph (TOG)*. 2020. Vol. 39. pp. 1-16.
27. Wang L., Haghghi A. Combined strength of holons, agents and function blocks in cyber-physical systems. *Journal of Manufacturing Systems*. 2016. Vol. 40. pp. 25-34.
28. Lu Y., Liu C., Wang K., Huang H Xu X. Digital Twin-driven smart manufacturing: con-notation, reference model, applications and research issues. *Robotized, Computerized and Integrated Manufacture*. 2020. Vol. 61. pp. 101837.
29. Mainprice J., Berenson D. Human-robot collaborative manipulation planning using early prediction of human motion // *Proceedings of the IEEE international conference on intelligent robots and systems*. 2013. Vol. 1. pp. 299-306.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

© 2022 The Authors. Published by T. F. Gorbachev Kuzbass State Technical University. This is an open access article under the CC BY license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Authors

Eyvaz A. Gasanov – Dr.Sc., Economics Department Head, Khabarovsk State University of Economics and Law, 680042, Khabarovsk, Tikhookeanskaya st., 134, e-mail: economic@ael.ru

