

УДК 65.014 : 65.011.5 : 658.5: 004.5

ЦИФРОВИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМ ПРЕДПРИЯТИЕМ

© 2021 А.В. Иващенко, Т.В. Никифорова

Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

Статья поступила в редакцию 15.04.2021

В статье рассматривается проблема поиска рациональной доли искусственного интеллекта в организационной системе производственного предприятия. Предложена оригинальная формально-логическая модель смешанной интегрированной информационной среды цифрового предприятия, отличающаяся от аналогов возможностью онтологического описания процессов взаимодействия персонала и систем искусственного интеллекта. На основе предложенной модели разработана методика оптимального замещения кадрового обеспечения киберфизических систем компонентами искусственного интеллекта, позволяющая реализовать балансировку загрузки человеческих ресурсов и интеллектуальных систем. Предложенные разработки могут быть применены в организации производственного процесса предприятий для планирования и управления, а также внедрения новых технологий и искусственного интеллекта. Результаты работы рекомендуются в рамках реализации концепции Индустрии 4.0 на научно-производственных предприятиях машиностроения.

Ключевые слова: цифровая экономика, Индустрия 4.0, искусственный интеллект, организация производства.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-2-46-50

ВВЕДЕНИЕ

Современные тенденции цифровой трансформации производственного предприятия с целью повышения его конкурентоспособности предполагают активное внедрение в производство киберфизических систем и технологий искусственного интеллекта. Согласно программе «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденной распоряжением Правительства РФ № 1632-р от 28 июля 2017 года, данные в цифровой форме являются ключевым фактором производства во всех сферах социально-экономической деятельности. Согласно концепции Индустрии 4.0 процессы разработки продуктов, производства, структурирования и обслуживания должны быть оцифрованы и интегрированы на основе взаимного проникновения информационных технологий и промышленности. Ожидаемые последствия включают значительное сокращение персонала и переориентацию кадрового обеспечения на выполнение новых должностных обязанностей.

При этом актуальной является научно-техническая проблема определения оптимального замещения человеческих ресурсов компьютерными и интеллектуальными системами, а также реализация эффективных форм организации

труда в условиях взаимодействия персонала и автономных активных программ в едином информационном пространстве в режиме реального времени. Существующие исследования в данном направлении проводятся в рамках разработки коллаборативных промышленных роботов (коботов) и организации кооперативного дизайна (ко-дизайна), а также интеграции информационных ресурсов и реализации человеко-компьютерного взаимодействия в машиностроении. Однако методика, позволяющая определять рациональную пропорцию естественного и искусственного интеллекта на производственных предприятиях, отсутствует.

В данной статье предлагается решить эту проблему в ходе моделирования и оптимизации организационных структур производственных процессов на цифровом предприятии путем управления рациональным соотношением искусственного интеллекта и кадрового обеспечения.

ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ РАЗРАБОТОК

Цифровая трансформация [1, 2] предполагает применение новых практик управления на уровне предприятия: цифровые продукты, цифровые бизнес-процессы, новые форматы коллективной работы, производственная среда и организационная структура. Цифровые предприятия требуют иного подхода к управлению и организации производства. Характерные черты цифровой трансформации – вытеснение чело-

Иващенко Антон Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Вычислительная техника». E-mail: anton-ivashenko@yandex.ru

Никифорова Татьяна Вячеславовна, аспирант. E-mail: kolesnikova.t.v.163@gmail.com

веческого труда и замена его роботами с искусственным интеллектом [3, 4]. Внедрение и использование искусственного интеллекта ведет к сокращению расходов, повышению производительности труда, минимизации сроков принятия решений.

Цифровая трансформация являются частью концепции «Индустрия 4.0» [5, 6]. Данная концепция предполагает переход на полностью автоматизированное цифровое производство, управляемое интеллектуальными системами в режиме реального времени в постоянном взаимодействии с внешней средой.

Технологии Индустрии 4.0 порождают актуальные вопросы организации совместного функционирования интеллектуальных роботов и персонала предприятия [7, 8]. Примером такого функционирования могут служить киберфизические системы [9, 10], которые представляют собой гибрид технологий и физических процессов. Главная идея киберфизических систем – максимальная автоматизация, частичное или полное исключение человека из производственных и бизнес-процессов. Другим примером совместной работы человека и роботов являются коллаборативные роботы или коботы, которые имеют упрощенный интерфейс управления, безопасен для человека, быстро переключается на другие процессы и не требует специальных знаний для взаимодействия.

Концепция «Индустрия 4.0» направлена на сближение людей и роботов, предполагает формирование смешанной интегрированной информационной среды, синхронизацию и активное взаимодействие компьютерных агентов и персонала [11, 12]. Для эффективного принятия управленческих решений необходимо учитывать не только нюансы организации человеческого труда, но особенности цифровых процессов и смешанный тип взаимодействия человека с искусственным интеллектом.

Несмотря на высокоразвитые технологии искусственного интеллекта и цифровых технологий, предприятия не могут полностью отказаться от участия человека в процессах производства. Внедрение элементов искусственного интеллекта в производственные процессы предполагает расширение человеческих возможностей, а эффективное взаимодействие повышает необходимость и способствует формированию цифровых навыков и повышению квалификации кадрового обеспечения предприятия. При замещении искусственным интеллектом высвободившиеся ресурсы необходимо переключать на новые задачи, проводить обучение, возникает необходимость формирования стратегии развития кадрового обеспечения.

МОДЕЛЬ СМЕШАННОЙ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ ЦИФРОВОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Предложим формально-логическая модель, которая основана на онтологическом подходе, позволяющем определять семантику любого объекта x_q с помощью дескриптора знаний можно представить в следующем виде (1):

$$\omega(x_q, t_q) = \left\{ \{ \tau_{q,i}, w_{q,i} \}, \{ p(x_{q'}) \}, t_q \right\}, \quad (1)$$

где $\tau_{q,i}$ – тег (ключевое слово),

$w_{q,i}$ – его вес,

$p(x_{q'})$ – определяет отношение к другому дескриптору $x_{q'}$,

t_q – время использования дескриптора.

Понятия относятся к объектам, взвешенные теги соответствуют атрибутам, а их зависимости описываются отношениями. Основное правило, требуемое в этом контексте, определяет критерий близости. Условия онтологической близости объектов x_q и $x_{q'}$ можно определить как (2):

$$\begin{aligned} P(\omega(x_q, t_q), \omega(x_{q'}, t_{q'})) = \\ = \sum_{q,i} \left| w_{q,i} - \sum_{q',i'} w_{q',i'} \cdot \delta(\tau_{q,i} = \tau_{q',i'}) \right| + \\ + \sum_{q',i'} \left| w_{q',i'} - \sum_{q,i} w_{q,i} \cdot \delta(\tau_{q,i} = \tau_{q',i'}) \right| \leq \Delta W, \quad (2) \end{aligned}$$

где ΔW – допустимый уровень семантического отклонения,

$$\delta(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0; \\ 0, & x < 0. \end{cases}$$

Рассмотрена смешанная интегрированная информационная среда цифрового предприятия, которая включает в себя как людей $a_i, i = 1..N_a$, так и искусственный интеллект, роботов, киберфизические системы, которых вместе определим как компьютерных агентов $b_j, j = 1..N_b, N_a$ и N_b – количество акторов и агентов, участвующих в производственном процессе. Акторы и агенты имеют соответствующие дескрипторы знаний: $\omega(a_i)$ и $\omega(b_j)$.

Организация производства включает в себя стандартизированные процессы, согласно которым акторы и агенты должны выполнять определенные задачи или действия d_k в определенные моменты времени. Рабочий процесс можно определить сценарием (3):

$$\varepsilon_r = \{ s_k(d_k, t_k \Delta t_k, \omega(d_k, t_k), t_k^0) \}, \quad (3)$$

где $\omega(d_k, t_k)$ – требование к исполнителю,

t_k – время начала работы над задачей,

t_k^0 – время создания задачи, $t_k^0 \leq t_k$,

Δt_k – нормативная продолжительность рабочего процесса.

Для аналогичных операций могут использоваться заданные шаблонные сценарии генерации новых состояний каждой новой задачи. Для запуска задачи должен быть доступен и назначен соответствующий исполнитель. Событие назначения для актора a_i определяется как (4):

$$q'_{k,i} = q'_{k,i}(d_k, a_i, t'_{k,i}, \Delta t_{k,i}, \omega(a_i, t_i^a)), \quad (4)$$

где последовательность дескрипторов $\omega(a_i, t_i^a)$ описывает изменение фокуса со временем. Соответственно указывается событие назначения для агента:

$$q''_{k,j} = q''_{k,j}(d_k, b_j, t''_{k,j}, \Delta t_{k,j}, \omega(b_j, t_j^b)), \quad (5)$$

Процесс распределения потока поступающих задач между агентами и акторами в реальном времени характеризуется следующими средними показателями эффективности: время обработки задач; время простоя или ожидания (время ожидания – время между временем назначения и запуска задачи); количество отказов выполнения задачи.

Используя введенные индикаторы, процесс определения оптимальной доли соотношения интеллектуальных агентов и акторов в организационной структуре цифрового предприятия сводится к решению оптимизационной задачи дискретного программирования, включающей целевые функции (6,7).

Минимальное время ожидания (простоя):

$$T = \sum_k \sum_i \sum_j S_k \cdot (q'_{k,i} \cdot (t'_{k,i} - t_k^0) + q''_{k,j} \cdot (t''_{k,j} - t_k^0)) \rightarrow \min, \quad (6)$$

Минимальное количество отказов:

$$F = \sum_k \sum_i \sum_j S_k \cdot (1 - q'_{k,i}) \cdot (1 - q''_{k,j}) \rightarrow 0. \quad (7)$$

Организационная структура цифрового предприятия отличается наличием смешанной интегрированной информационной среды, где агент и актор находятся в постоянном взаимодействии друг с другом, выполняя производственные задачи. При этом на цифровом предприятии может остаться часть процессов, которая не будет трансформирована или будут внедрены процессы, которые будут полностью покрыты интеллектуальными агентами, а за человеком будет закреплена роль эксперта и контролера процесса.

МЕТОДИКА ОПТИМАЛЬНОГО ЗАМЕЩЕНИЯ КАДРОВОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КИБЕРФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОМПОНЕНТАМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Предлагаемая методика решения поставленной задачи состоит из трех основных этапов.

Первый этап – определение количественного соотношения агентов и акторов для эффек-

тивной обработки потока поступающих задач. В случае низкой осведомленности о реальном количестве и типах задач моделируются потоки событий. Оптимизационная задача решается градиентным методом. В качестве отправной точки мы рассматриваем вариант с количеством участников $N_a = 1$ и долей $N_b / (N_a + N_b) = 100\%$, что соответствует полному выполнению задач людьми без использования автоматизированных роботизированных систем.

Далее рассмотрим вариант, при котором количество агентов $N_b = 1$. Он соответствует полностью автоматической обработке поступающих задач. При таком распределении время ожидания задач в очереди сокращается, но количество сбоев может возрасти, поскольку агенты могут выполнять плохо формализованные задачи.

Чтобы определить точку, в которой обе целевые функции минимальны, мы используем метод градиентного спуска с разбиением по шагам. Геометрическая интерпретация метода заключается в том, что на каждом шаге мы движемся по вектору антиградиента, уменьшенному в γ раз, определяя направление оптимизации. На основе этих данных строится график баланса, который отображает точку пересечения двух функций, что соответствует оптимальному процентному соотношению агентов и акторов.

На втором этапе проводится анализ соответствия для повышения качества согласования поступающих задач с наиболее подходящими исполнителями. Чтобы обеспечить своевременную обработку поступающих задач, необходимо назначить агентов и акторов соответственно. Учитывая их автономное поведение и самоорганизацию, это следует делать косвенно, привлекая их внимание в нужные моменты.

Такой подход обеспечивает оптимальное замещение кадрового обеспечения киберфизических систем компонентами искусственного интеллекта, позволяющее реализовать балансировку загрузки человеческих ресурсов и интеллектуальных систем в смешанной интегрированной информационной среде цифрового предприятия. Акторы оказываются более предпочтительными для обработки непредсказуемых событий в реальном времени, в то время как интеллектуальные агенты лучше моделируют несколько версий возможных ситуаций для прогнозирования, анализа, сравнения и оптимизации.

На третьем этапе производится назначение задач исполнителям. Задачи не назначаются декларативно, а заблаговременно извлекаются из общей очереди агентами и акторами в соответствии с их предпочтениями. Акторы сами выбирают задачи для выполнения, а агенты назначаются автоматически.

Обобщенная схема методики представлена на рисунке 1. Эта методика может быть реализована либо с использованием стандартного про-

граммного обеспечения для моделирования и анализа, либо специально разработанного программного решения.

РЕЗУЛЬТАТЫ РЕАЛИЗАЦИИ

На основе сформулированных методик и алгоритмов разработана концептуальная схема

экспертной системы оптимального замещения кадрового обеспечения искусственным интеллектом (см. рисунок 2).

Под воздействием цифровой трансформации и технологий Индустрия 4.0 на предприятии происходит разработка планов и стратегии развития, производится анализ, подготовка, разработка производственных процессов, а также оценка

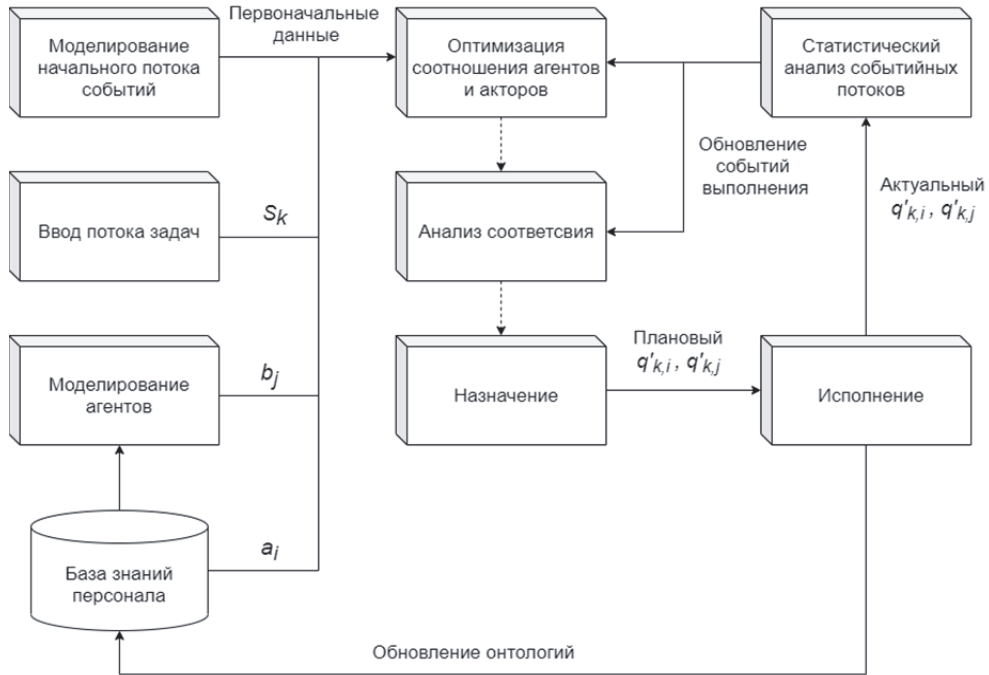


Рис. 1. Методика оптимизации рациональной пропорции применения интеллектуальных технологий

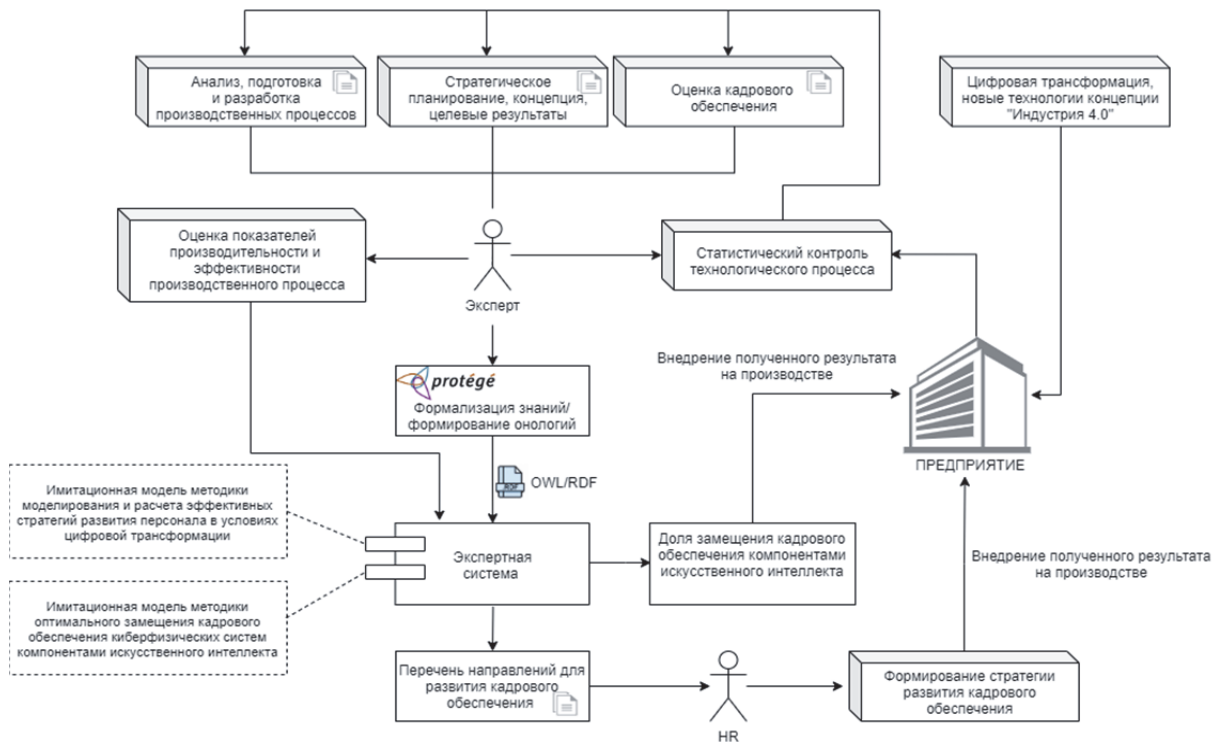


Рис. 2. Концептуальная схема внедрения экспертной системы оптимального замещения кадрового обеспечения искусственным интеллектом

кадрового обеспечения. Данная информация собирается экспертом и формализуется в виде онтологий. На этом этапе также формулируются и собираются показатели производительности и эффективности производственного процесса, которые являются входными параметрами имитационного моделирования экспертной системы. Онтология является источником знаний о предметной области, на основании которой производятся расчеты процентного соотношения кадрового обеспечения и компонентов искусственного интеллекта и стратегии развития.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, решена задача рационального замещения кадрового обеспечения киберфизических систем компонентами искусственного интеллекта, которая обеспечивает оптимальное распределение нагрузки и исполнителей производственных задач путем определения баланса загрузки человеческих ресурсов и интеллектуальных систем. Практическое применение предложенной разработки позволяет произвести оптимизацию организационных структур и производственных процессов, вспомогательных и обслуживающих производств на основе широкого использования новых информационных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Digital Russia. New Reality. [Online] / Digital McKinsey, July 2017, -Добролюбова Е.И., Южаков В.Н., Старостина А.Н. Цифровая трансформация государственного управления: оценка результатов и эффективности. - Москва: Издательский дом «Дело», РАНХиГС, 2021. - 234 с.
2. Норвиг П., Стюарт Р. Искусственный интеллект. Современный подход. М.: Вильямс, 2007. - 1408 с.
3. Трофимов В.В. Искусственный интеллект в цифровой экономике // Известия СПбГЭУ, 2019. - № 4 (118). - С. 105 – 109
4. Lasi H., Kemper H.-G., Fette P., Feld T., Hoffmann M. Industry 4.0 // Business & Information Systems Engineering, 2014. -Kagermann H., Wahlster W., Helbig J. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group, 2013. -Борзова Е.П. Проблема соотношения человеческого фактора и алгоритмов искусственного интеллекта в экономике и финансовой сфере // Московский экономический журнал. - 2018. - №5 (2). - С. 63 – 69
5. Иващенко А.В., Дязитдинова А.Р., Кривошеев А.В., Никифорова Т.В. Поиск пропорции естественного и искусственного интеллекта в прикладных задачах цифровой экономики // Инфокоммуникационные технологии. - Том 18, № 1. - 2020. - С. 68 – 76.
6. Kragic D., Gustafson J., Karaoguz H., Jensfelt P., Krug R. Interactive, collaborative robots: challenges and opportunities // Proceedings of the Twenty-Seventh International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-18), 2018 – pp. 18 – 25
7. Wilson H.J., Daugherty P.R. Collaborative intelligence: humans and AI are joining forces // Harvard Business Review, July–August 2018, 11 p.
8. Иманов Р.А., Пономарева С.В., Серебрянский Д.И. Развитие цифровой экономики: искусственный интеллект в отечественном промышленном производстве // Региональные проблемы преобразования экономики. - 2018. - № 6 (92). - С. 5 – 11
9. Khaimovich I.N., Ramzaev V.M. Development of data model for the functioning of production active elements based on information interaction // CEUR Workshop Proceedings. - 2018. - Vol. 2212. - pp. 38 – 45.

DIGITAL TRANSFORMATION OF THE MANAGEMENT ORGANIZATIONAL STRUCTURE OF A PRODUCTION ENTERPRISE

© 2021 A.V. Ivaschenko, T.V. Nikiforova

Samara State Technical University, Samara, Russia

The article discusses the problem of finding a rational share of artificial intelligence in the organizational system of a manufacturing enterprise. An original formal-logical model of a mixed integrated information environment of a digital enterprise is proposed, which differs from analogues in the possibility of an ontological description of the processes of interaction between personnel and artificial intelligence systems. On the basis of the proposed model, a technique has been developed for the optimal replacement of staffing for cyber-physical systems with artificial intelligence components, which allows balancing the load of human resources and intelligent systems. The proposed developments can be applied in the organization of the production process of enterprises for planning and management, as well as the introduction of new technologies and artificial intelligence. Research results are recommended under the framework of implementation of the concept of Industry 4.0 for modern enterprises of industrial engineering.

Keywords: digital economy, Industry 4.0, Artificial Intelligence, industrial engineering.

DOI: 10.37313/1990-5378-2021-23-2-46-50

Anton Ivaschenko, Dr.Tech.Sc., Professor, Chair of “Computer Science” Department. E-mail: anton-ivashenko@yandex.ru
Tatiana Nikiforova, PhD Student.
E-mail: kolesnikova.t.v.163@gmail.com