ARTIFICIAL INTELLIGENCE ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ

УДК 004.89

А.А. Романов, А.А. Филиппов, Н.Г. Ярушкина, В.А. Маклаев

МОДУЛЬ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРОИЗВОДСТВА¹

Романов Антон Алексеевич, кандидат технических наук, окончил факультет информационных систем и технологий Ульяновского государственного технического университета (УлГТУ), доцент кафедры «Информационные системы» УлГТУ. Имеет статьи в области интеллектуальных систем хранения и обработки информации. [e-mail: romanov73@gmail.com].

Филиппов Алексей Александрович, кандидат технических наук, окончил факультет информационных систем и технологий УлГТУ, доцент кафедры «Информационные системы» УлГТУ. Имеет статьи в области онтологического моделирования, интеллектуальных систем хранения и обработки информации. [e-mail: al.filippov@ulstu.ru].

Ярушкина Надежда Глебовна, доктор технических наук, профессор, окончила Ульяновский политехнический институт. Исполняющая обязанности ректора УлГТУ, заведующая кафедрой «Информационные системы» УлГТУ. Имеет более 300 работ в области мягких вычислений, нечеткой логики, гибридных систем. [e-mail: jng@ulstu.ru].

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Ульяновской области в рамках научных проектов № 18-47-732016, 18-47-730022, 19-47-730005 и 19-07-00999.

Маклаев Владимир Анатольевич, кандидат технических наук, окончил радиотехнический факультет Ульяновского политехнического института. Генеральный директор ФНПЦ АО «НПО «Марс». Область научных интересов – системы автоматизированного проектирования. [e-mail: mars@mv.ru].

Аннотация

В процессе деятельности любой крупной организации возникает необходимость в своевременном принятии срочных управленческих решений, которое требует от специалиста глубокого знания проблемной области и текущего состояния организации.

Для решения поставленных проблем был создан модуль поддержки принятия решений (МППР) в задаче балансировки производственных мощностей. Главной задачей МППР является лингвистическое резюмирование состояния основных индикаторов производственных мощностей предприятия и вывод рекомендаций, позволяющих лицу, принимающему решения, выработать определенную стратегию балансировки производственных мощностей. В основе МППР лежит база знаний, основанная на онтологии и множестве экспертных правил на языке SWRL.

В рамках данной статьи будут рассмотрены методы анализа и прогнозирования динамики основных производственных индикаторов с применением нечетких множеств типа 2, а также подход к резюмированию временных рядов производственных показателей и формирование рекомендаций по оптимизации производства с применением методов инженерии знаний.

Ключевые слова: принятие решений на основе данных, нечеткие множества типа 2, прогнозирование временных рядов, онтология, логический вывод.

doi: 10.35752/1991-2927-2020-2-60-62-72

THE DECISION SUPPORT MODULE OF INFORMATION ENVIRONMENT FOR TECHNOLOGICAL SUPPORT OF PRODUCTION

Anton Alekseevich Romanov, Candidate of Sciences in Engineering; graduated from the Faculty of Information Systems and Technologies of Ulyanovsk State Technical University (UISTU); Associate Professor of the Department of Information Systems at UISTU; an author of articles in the field of intelligent systems for data storage and processing. e-mail: romanov73@gmail.com.

Aleksei Aleksandrovich Filippov, Candidate of Sciences in Engineering; graduated from the Faculty of Information Systems and Technologies of Ulyanovsk State Technical University; Associate Professor of the Department of Information Systems at UISTU; an author of articles in the field of ontological modeling, intelligent systems for data storage and processing. e-mail: al.filippov@ulstu.ru.

Nadezhda Glebovna Yarushkina, Doctor of Sciences in Engineering, Professor; graduated from Ulyanovsk Polytechnic Institute; Interim Rector of Ulyanovsk State Technical University, Head of the Department of Information Systems at UISTU; an author of more than 300 scientific papers in the field of soft computing, fuzzy logic, and hybrid systems. e-mail: jng@ulstu.ru.

Vladimir Anatolevich Maklaev, Candidate of Sciences in Engineering; graduated from Radioengineering Faculty of Ulyanovsk Polytechnic Institute; Director General of Federal Research-and-Production Center Joint-Stock Company 'Research-and-Production Association 'Mars'. The area of scientific interests relates to the computer-aided design systems. e-mail: mars@mv.ru.

Abstract

Making management decisions requires a specialist to have extensive knowledge of the problem area and the current state of the organization. There is a need for timely and urgent management decision support in the activity of any large organization.

The decision support module (DSM) was created to solve that kind of problem in the task of balancing production capacities. The main task of the DSM is a linguistic summarization of the state of the main production indicators and the formation

of recommendations that allow the decision-maker to develop a specific strategy for balancing production capacities. The DSM functionality is based on the knowledge base in the form of ontology with the set of expert SWRL-rules. This article describes methods for modeling and forecasting the dynamics of the main production indicators based on type-2 fuzzy sets, and the approach to summarizing the time series of production indicators and forming recommendations for optimizing production based on knowledge engineering methods.

Key words: data-driven decision making, type-2 fuzzy sets, time series forecasting, ontology, inference.

ВВЕДЕНИЕ

Технологическая подготовка сложного производства на крупных промышленных предприятиях предполагает необходимость глубокого анализа производственных мощностей, материально-технических, временных и человеческих ресурсов с целью максимального повышения эффективности их использования в условиях строго определенных планов производства. Современное производство обладает сверхсложными процессами и технологиями ввиду повышенных требований к продукции. Такая продукция обладает как количественной сложностью, определяемой объемом составных частей, так и качественной сложностью, заключающейся в трудности понимания производственных процессов и высокой степени неопределенности, обусловленной интегральным влиянием множества факторов [1]. Современные предприятия выпускают не отдельное изделие, а линейку систем, модифицируемых в процессе эксплуатации, что обуславливает динамичную природу производственных процессов и необходимость их адаптации к изменяющейся природе проблемной области.

Достижение данной цели требует решения ряда важных задач, касающихся информационной составляющей технологической подготовки производства, таких как [1, 2]:

- определение принципов построения, а также оптимальной структуры информационного обеспечения процесса подготовки производства;
- анализ, строгая структуризация и валидация технологической документации в рамках информационного обеспечения процесса электронной технологической подготовки производства;
- разработка методов и алгоритмов моделирования технологической подготовки производства посредством балансировки мощностей производства;
- реализация автоматизированной системы поддержки производства, обеспечивающей учет и анализ всех видов ресурсов предприятия и позволяющей находить оптимальные решения в процессе балансировки производственных мощностей.

Решение поставленных задач предполагает возможность формирования единой унифицированной информационной среды технологической поддержки производства (ИСТПП). Принципы онтологического инжиниринга, как области инженерии знаний, позволяют интегрировать источники необходимой информации в единую среду с последующим анализом и поиском оптимальных решений управления технологическими процессами и потоками ресурсов, позволяющими существенно сократить возможные издержки. Особенно

важно решение подобных задач для крупных производств.

1 АРХИТЕКТУРА ИСТПП

Одна из крупных задач, решаемых при помощи ИСТПП, является балансировка производственных мощностей. Баланс производственных мощностей [1–3] – система показателей, характеризующих наличие, движение и уровень использования производственных мощностей, определяющих выпуск продукции. Под производственной мощностью понимается способность закрепленных за предприятием технологического и сборочно-технологического оборудования, производственных площадей, а также основных производственных рабочих в цехах основного производства обеспечить максимальный выпуск продукции за заданный интервал времени в соответствии с режимом работы.

Балансировка производственных мощностей, выполняемая в рамках предприятия, состоит из результатов решения задачи балансировки по цехам с учетом плана производственной программы. Результатом балансировки производственных мощностей является формирование технологического паспорта предприятия. Технологический паспорт – это документ, который формируется по каждому предприятию и отражает его техническое оснащение и производственные характеристики на момент составления.

Производственная программа – планируемый объем производства продукции установленной номенклатуры, который измеряется в условных единицах продукции и человеко-часах. Товарной программой называется директивный план поставок продукции по отраслевой технике в натуральном и стоимостном выражении.

Общий вид архитектуры (физический уровень) представлен на рисунке 1.

Как видно из рисунка 1, ИСТПП включает в себя следующие подсистемы [3]:

1. Подсистема учета производственных мощностей обеспечивает хранение и работу со справочной информацией, ввод производственной программы, а также управление интеграцией для получения данных из внешних систем предприятия.

2. Подсистема расчета располагаемых и планируемых производственных мощностей разработана для формирования показателей, отражающих состояние мощностей в разрезах оборудования, площадей и персонала. Планируемые мощности при этом учитываются как запланированные к вводу, без учета запланированных работ.

Рис. 1. Общий вид компонентов системы

3. Подсистема расчета потребных производственных мощностей формирует показатели производства в контексте выполнения производственной программы. Данный программный компонент позволяет установить, является ли запланированная производственная программа выполнимой, вычислить профицит или дефицит в разрезе различных индикаторов производства.

4. Подсистема балансировки производственных мощностей формирует технологический паспорт предприятия как в данный момент времени, так и позволяет сохранять паспорт в виде отчетных форм в разрезе версий.

5. Подсистема рекомендаций по балансировке производственных мощностей позволяет при формировании технологического паспорта предприятия для лица, формирующего отчет, произвести лингвистическое резюмирование текущего состояния производственных

мощностей и сформировать рекомендации по перераспределению объемов работ, оборудования между подразделениями, реализующими производственную программу. Вывод рекомендаций осуществляется на основании данных подсистемы расчета потребных производственных мощностей, а именно рассчитываемых ей показателей. Сами правила описаны в онтологии, загружаемой в систему, и позволяют производить настройку системы путем корректировки пороговых значений показателей, а также само количество правил.

6. Подсистема моделирования сценариев развития производственных мощностей предназначена для работы с производственными мощностями и производственной программой, которые можно скорректировать в количественном отношении в большую или меньшую сторону. По результатам корректировки вычисляются

показатели производства. Данный модуль необходим для взаимного увязывания объемов работ и потребного объема производственных мощностей с допустимыми значениями профицита/дефицита.

Подсистемы расчета потребных производственных мощностей и рекомендаций по балансировке производственных мощностей образуют модуль поддержки принятия решений (МППР) ИСТПП.

В рамках данной статьи будут рассмотрены методы анализа и прогнозирования динамики основных производственных индикаторов с применением нечетких множеств типа 2, а также подход к резюмированию временных рядов (ВР) производственных показателей и формирование рекомендаций по оптимизации производства с применением методов инженерии знаний.

2 Модель ВР на основе нечетких множеств типа 2

Применительно к проблеме моделирования ВР нечеткие множества типа 2 позволяют промоделировать неопределенность более высокого порядка [4].

Форму нечетких множеств предлагается использовать треугольную, ввиду небольшой вычислительной сложности при проведении экспериментов.

Нечеткие множества типа 2 $\tilde{A}$ в универсуме U могут быть определены при помощи функций принадлежности типа 2.

Множества типа 2 можно определить как:

$$\tilde{A} = ((x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u)) | \forall x \in U, \forall u \in J_x \subseteq [0, 1],$$

где $x \in U$ и $u \in J_x \subseteq [0, 1]$, при котором $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x, u) \leq 1$.

Так как основная функция принадлежности находится в интервале от 0 до 1, то внешний вид нечеткого множества выражается как:

$$\tilde{A} = \int_{x \in U} \int_{u \in J_x} \frac{\mu_{\tilde{A}}(x, u)}{x, u} J_x \subseteq [0, 1],$$

где оператор $\int_{x \in U} \int_{u \in J_x}$ обозначает объединение по всем входящим x и u .

Для моделирования ВР определим также интервальные нечеткие множества и их форму.

Внешний вид множеств представлен на рисунке 2.

Рис. 2. Вид верхней и нижней функций принадлежности

Треугольные нечеткие множества определяются следующим образом:

$$\tilde{A}_i = (\tilde{A}_i^U, \tilde{A}_i^L) = \left((a_{i1}^U, a_{i2}^U, a_{i3}^U, h(\tilde{A}_i^U)), (a_{i1}^L, a_{i2}^L, a_{i3}^L, h(\tilde{A}_i^L)) \right),$$

где $\tilde{A}_i^U$ и $\tilde{A}_i^L$ – треугольные нечеткие множества типа 1;

$a_{i1}^U, a_{i2}^U, a_{i3}^U, a_{i1}^L, a_{i2}^L, a_{i3}^L$ – опорные точки нечеткого интервального множества типа 2 $\tilde{A}_i$;

h – значение функции принадлежности элемента a_i (для верхней и нижней функции принадлежности соответственно).

При работе с базой правил, построенной по значениям ВР, потребуется операция объединения нечетких множеств типа 2.

Определим ее следующим образом:

$$\begin{aligned} \tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 &= (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) \oplus (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) = \\ &= \left((a_{11}^U + a_{21}^U, a_{12}^U + a_{22}^U, a_{13}^U + a_{23}^U; \min(h_1(\tilde{A}_1^U), h_1(\tilde{A}_2^U)), \min(h_2(\tilde{A}_1^U), h_2(\tilde{A}_2^U))) \right); \\ &\quad \left((a_{11}^L + a_{21}^L, a_{12}^L + a_{22}^L, a_{13}^L + a_{23}^L; \min(h_1(\tilde{A}_1^L), h_1(\tilde{A}_2^L)), \min(h_2(\tilde{A}_1^L), h_2(\tilde{A}_2^L))) \right). \end{aligned}$$

Алгоритм прогнозирования ВР, смоделированного при помощи нечетких множеств типа 2:

1. Определить универсум для значений ВР:

$$U = [U_{\min}, U_{\max}],$$

где $U_{\min}$ и $U_{\max}$ – минимальное и максимальное значение ВР соответственно.

2. Задать функции принадлежности для ВР:

$$M = \{\mu_1, \dots, \mu_l\}, \quad l \ll n,$$

где l – количество функций принадлежности нечетким множествам;

n – длина ВР.

Количество функций принадлежности и, соответственно, количество нечетких множеств выбирается достаточно небольшим. Мотивация данного решения – многоуровневый подход к моделированию ВР. На каждом уровне выгодно сокращать количество нечетких множеств для сокращения размерности множества отношений. Разумеется, это приведет к снижению качества аппроксимации исходного ВР. Однако задание собственного набора функций принадлежности на втором и более высоких уровнях приведет к повышению точности аппроксимации с увеличением числа уровней.

3. Определить нечеткие множества для ВР. Для понимания, обозначим тип нечетких множеств верхним индексом:

$$A^1 = \{A_1^1, \dots, A_l^1\}, A^2 = \{A_1^2, \dots, A_m^2\},$$

где l – количество нечетких множеств типа 1;

m – количество нечетких множеств типа 2.

4. Фаззифицировать ВР:

Рис. 3. Прогнозирование ВР коэффициента

Рис. 4. Прогнозирование ВР количества персонала

$$\forall x_i, \tilde{y}_i = Fuzzy(x_i).$$

5. Произвести фаззификацию второго уровня.

6. Установить отношения. Правила фиксируются в виде пар нечетких множеств в части антецедентов и консеквентов, например: $A_1^1 A_1^2 \dots \rightarrow A_2^1 A_2^2$.

По набору правил произвести вывод прогноза для первого и второго уровней. Прогноз вычисляется центридным методом сначала на нечетких множествах типа 1 $A^1 = \{A_1^1, \dots, A_l^1\}$, затем на нечетких множествах типа 2.

7. Оценить ошибки.

3 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВР НА ОСНОВЕ ПРЕДЛОЖЕННОЙ МОДЕЛИ

Эксперимент с прогнозированием ВР проводится с использованием базы правил «Если-То». Правила извлекаются из ВР в виде последовательностей нечетких множеств, выступающих в качестве антецедентов (кол-во ≥ 2), и значения консеквента, также являющегося нечетким множеством. Сформированная база

правил дает возможность делать одноточечный прогноз.

Условия эксперимента:

- прогноз производится на тестовый интервал в количестве 10 точек;

- для показательности прогноз производится как на основе нечетких множеств типа 1 и типа 2.

Прогноз ВР коэффициента повышения норм (рис. 3) осложняется тем, что на участок тестирования выпадают ранее не присутствовавшие значения, следовательно, в правилах отсутствуют характерные поведения ВР.

Качество прогнозирования оценивается при помощи критерия SMAPE:

- для нечетких множеств типа 1 SMAPE = 7,69%;

- для нечетких множеств типа 2 SMAPE = 9,27%.

На рисунке 4 представлен прогноз ВР количества персонала.

Качество прогнозирования оценивается по SMAPE:

- для нечетких множеств типа 1 SMAPE = 39,41%;

- для нечетких множеств типа 2 SMAPE = 27,91%.

Стоит отметить, что для малого количества нечетких множеств первого уровня характерна грубая аппроксимация. Применение нечетких множеств типа 2 позволяет

повысить точность аппроксимации, качество моделирования и прогнозирования при этом будет зависеть от количества и границ нечетких множеств.

4 РЕЗЮМИРОВАНИЕ ПРОГНОЗА ВР НА ОСНОВЕ БАЗЫ ЗНАНИЙ В ЗАДАЧЕ БАЛАНСИРОВКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ

Резюмирование прогноза ВР в задаче балансировки производственных мощностей позволяет лицу, принимающему решение, оперативно реагировать на изменения ситуации на производстве. Для организации базы правил используется онтология [5] следующей структуры:

$$O = \langle I, E, S, A, R, F \rangle, \quad (1)$$

где $I = \{I_1, I_2, \dots, I_n\}$ – множество индикаторов, определяющих состояние производственных мощностей предприятия в некоторый момент времени;

$E = \{Bad, Good, High, Middle, Low\}$ – множество лингвистических меток, используемых в процессе резюмирования значений индикаторов состояния производственных мощностей предприятия;

$S = \{StateHigh, StateMiddle, StateLow\}$ – множество текстовых представлений лингвистических меток *High*, *Middle* и *Low* из множества *E*;

$A = \{\langle I_1, Bad \rangle, \langle I_1, Good \rangle, \langle I_2, Bad \rangle, \langle I_2, Good \rangle, \dots, \langle I_n, Bad \rangle, \langle I_n, Good \rangle\}$ – множество текстовых представлений рекомендаций для каждого индикатора производственных мощностей предприятия с учетом различной оценки его состояния: *Good* (в пределах нормы) и *Bad* (отклонение от нормы);

R – множество отношений онтологии, которое можно представить следующим выражением:

$$R = \{R_{ES}, R_{EA}, R_{IE}\},$$

в котором R_{ES} – множество отношений, определяющих связь между лингвистической меткой и ее текстовым представлением;

R_{EA} – множество отношений, определяющих связь между лингвистической меткой и текстовым представлением рекомендации;

R_{IE} – множество отношений, определяющих связь между значением индикатора и его лингвистической меткой. Данный вид отношений формируется в процессе резюмирования значений индикаторов с применением машины логического вывода и набора правил на языке SWRL [6];

F – функция интерпретации, формирующая множество отношений R_{IE} , заданная множеством правил на языке SWRL.

Для логического представления онтологии базы знаний резюмирования прогноза ВР используется расширение дескрипционной логики $\mathcal{ALCHFI}(\mathcal{D})$ [7–9]. При использовании дескрипционной логики $\mathcal{ALCHFI}(\mathcal{D})$ онтология O , представленная выражением 1, имеет вид:

$$O = TBox \cup ABox,$$

где $TBox$ – терминология онтологии резюмирования;

$ABox$ – факты онтологии резюмирования.

Рассмотрим логическое представление онтологии O более подробно.

5 ТЕРМИНОЛОГИЯ $TBox$

$$E \sqsubseteq \top$$

$$Bad \sqsubseteq E$$

$$Good \sqsubseteq E$$

$$High \sqsubseteq E$$

$$Middle \sqsubseteq E$$

$$Low \sqsubseteq E$$

$$High \sqsubseteq \neg Low$$

$$High \sqsubseteq \neg Middle$$

$$Middle \sqsubseteq \neg Low$$

$$Bad \sqsubseteq \neg Good$$

$$Recommendation \sqsubseteq \top$$

$$A \sqsubseteq Recommendation$$

$$S \sqsubseteq Recommendation$$

$$StateHigh \sqsubseteq S$$

$$StateMiddle \sqsubseteq S$$

$$StateLow \sqsubseteq S$$

$$StateHigh \sqsubseteq \neg StateMiddle$$

$$StateHigh \sqsubseteq \neg StateLow$$

$$StateLow \sqsubseteq \neg StateMiddle$$

$$I \sqsubseteq \top$$

$$I \equiv \top \sqcap \exists hasResume.A \sqcap \exists hasState.S \sqcap \exists hasValue.Double$$

$$Recommendation \equiv \top \sqcap \exists hasDescription.String \sqcap \forall hasDescription.String$$

где E – концепт, представляющий лингвистическую метку онтологии;

Bad, *Good*, *High*, *Middle*, *Low* – концепты, представляющие отдельные лингвистические метки для резюмирования значений индикаторов;

Recommendation – концепт, представляющий лингвистические метки и рекомендации;

I – концепт, представляющий индикатор;

S – концепт, представляющий лингвистическую метку;

StateHigh, *StateMiddle*, *StateLow* – концепты, представляющие отдельные состояния производственных мощностей предприятия;

A – концепт, представляющий рекомендации онтологии;

$\sqsubseteq$ – аксиома вложенности концептов, позволяющая формировать иерархию концептов онтологии;

hasResume – роль, позволяющая задать соответствие между рекомендацией и индикатором;

hasState – роль, позволяющая задать соответствие между лингвистической меткой и индикатором;

hasValue – роль, позволяющая задать значение типа Double индикатора;

hasDescription – функциональная роль, позволяющая задать текстовое описание (*String*) лингвистической метки или рекомендации онтологии.

6 ЛИНГВИСТИЧЕСКОЕ РЕЗЮМИРОВАНИЕ ИНДИКАТОРОВ ПРОИЗВОДСТВА

Предположим, что на некотором предприятии используется два индикатора производственных мощностей:

1. Мощность в человеко-часах в расчете на 1 месяц (EP).
2. Мощность в станко-часах в расчете на 1 месяц (TP).

Необходимо указать значения индикаторов в текущий момент времени. *ABox* будет иметь вид:

EP: I *TP: I*
(*EP*, 3610): *hasValue*
(*TP*, 2700): *hasValue*

Для каждого индикатора показателей производственных мощностей экспертом формируется множество SWRL-правил, позволяющих выполнить лингвистическое резюмирование:

$EP(?ind) \wedge hasValue(?ind, ?val) \wedge swrlb:lessThanOrEqual(?val, 2000)$
 $\rightarrow Low(?ind)$

$EP(?ind) \wedge hasValue(?ind, ?val) \wedge swrlb:greaterThan(?val, 2000)$
 $\wedge swrlb:lessThanOrEqual(?val, 4000) \rightarrow Middle(?ind)$

$EP(?ind) \wedge hasValue(?ind, ?val) \wedge swrlb:greaterThan(?val, 4000)$
 $\rightarrow High(?ind)$

$TP(?ind) \wedge hasValue(?ind, ?val) \wedge swrlb:lessThanOrEqual(?val, 1000)$
 $\rightarrow Low(?ind)$

$TP(?ind) \wedge hasValue(?ind, ?val) \wedge swrlb:greaterThan(?val, 1000)$
 $\wedge swrlb:lessThanOrEqual(?val, 3000) \rightarrow Middle(?ind)$

$TP(?ind) \wedge hasValue(?ind, ?val) \wedge swrlb:greaterThan(?val, 3000)$
 $\rightarrow High(?ind)$

После выполнения данных правил каждый индикатор соотносится с определенной лингвистической меткой:

EP: Middle *TP: Middle*

Для формирования сопоставления между лингвистической меткой и ее текстовым представлением используется следующее множество SWRL-правил:

$Low(?ind) \wedge StateLow(?state)$
 $\rightarrow hasState(?ind, ?state)$

$Middle(?ind) \wedge StateMiddle(?state)$
 $\rightarrow hasState(?ind, ?state)$

$High(?ind) \wedge StateHigh(?state)$
 $\rightarrow hasState(?ind, ?state)$

После выполнения данного множества SWRL-правил *ABox* будет иметь вид:

(*EP*, *StateMiddle*): *hasState*
(*TP*, *StateMiddle*): *hasState*

В итоге, для выполнения лингвистического резюмирования основных показателей производственных мощностей предприятия на основе вновь полученного *ABox* используется следующее правило на языке SQWRL [10]:

$hasState(?ind, ?state)$
 $\wedge hasDescription(?state, ?descr)$
 $\rightarrow sqwrl:select(?ind, ?descr)$

После выполнения данного запроса на языке SQWRL формируется следующий результат:

TP "Значение показателя является средним"
EP "Значение показателя является средним"

Лингвистические метки используются в процессе формирования рекомендаций для балансировки производственных мощностей предприятия.

7 ФОРМИРОВАНИЕ РЕКОМЕНДАЦИЙ ДЛЯ БАЛАНСИРОВКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ ПРЕДПРИЯТИЯ

При формировании рекомендаций для балансировки производственных мощностей предприятия используется следующее множество SWRL-правил, заданных экспертом:

$$EP(?ep) \wedge Low(?ep) \rightarrow Bad(?ep)$$

$$EP(?ep) \wedge Middle(?ep) \rightarrow Bad(?ep)$$

$$EP(?ep) \wedge High(?ep) \rightarrow Good(?ep)$$

$$TP(?ep) \wedge Low(?ep) \rightarrow Bad(?ep)$$

$$TP(?ep) \wedge Middlemep) \rightarrow Bad(?ep)$$

$$TP(?ep) \wedge High(?ep) \rightarrow Good(?ep)$$

Данные SWRL-правила основаны на лингвистических метках, полученных в процессе лингвистического резюмирования. Таким образом, *ABox* будет иметь вид:

$$EP: Bad \quad TP: Bad$$

После присвоения индикаторам определенных лингвистических меток необходимо сформировать набор текстовых рекомендаций по балансировке производственных мощностей, выполнив следующие SWRL-правила:

$$EP(?ep) \wedge Bad(?ep) \wedge EP_Bad(?res) \rightarrow hasResume(?ep, ?res)$$

$$EP(?ep) \wedge Good(?ep) \wedge EP_Good(?res) \rightarrow hasResume(?ep, ?res)$$

$$TP(?tp) \wedge Bad(?tp) \wedge TP_Bad(?res) \rightarrow hasResume(?tp, ?res)$$

$$TP(?tp) \wedge Good(?tp) \wedge TP_Goodmres) \rightarrow hasResume(?tp, ?res)$$

$$EP(?ep) \wedge Bad(?ep) \wedge TP(?tp) \wedge Bad(?tp) \wedge EP_TP_Bad(?res) \rightarrow hasResume(?ep, ?res) \wedge hasResume(?tp, ?res)$$

$$EP(?ep) \wedge Good(?ep) \wedge TP(?tp) \wedge Good(?tp) \wedge EP_TP_Good(?res) \rightarrow hasResume(?ep, ?res) \wedge hasResume(?tp, ?res)$$

EP_Bad, *EP_Good*, *TP_Bad*, *TP_Good*, *EP_TP_Bad*, *EP_TP_Good* – рекомендации по балансировке производственных мощностей, заданные экспертом. Рекомендации могут быть привязаны к одному или более индикаторам.

После выполнения данных правил *ABox* будет иметь вид:

$$(EP, EP_BAD): hasResume$$

$$(EP, EP_TP_BAD): hasResume$$

$$(TP, TP_BAD): hasResume$$

$$(TP, EP_TP_BAD): hasResume$$

В итоге, для формирования рекомендаций по балансировке производственных мощностей предприятия на основе вновь полученного *ABox* используется следующее правило на языке SQWRL:

$$hasResume(?ind, ?rule) \wedge hasDescription(?rule, ?descr) \rightarrow sqwrl:selectDistinct(?ind, ?rule, ?descr),$$

в результате выполнения которого будет получен следующий результат:

<i>EP</i>	<i>EP_BAD</i>	"Мощности в человеко-часах в расчете на 1 месяц недостаточно для выполнения производственной программы. Необходимо нанять работников."
<i>EP</i>	<i>EP_TP_BAD</i>	"Мощности в человеко-часах и мощности в станко-часах в расчете на 1 месяц недостаточно для выполнения производственной программы. Необходимо выполнить следующие действия: купить оборудование, нанять работников,"
<i>TP</i>	<i>EP_TP_BAD</i>	"Мощности в человеко-часах и мощности в станко-часах в расчете на 1 месяц недостаточно для выполнения производственной программы. Необходимо выполнить следующие действия: купить оборудование, нанять работников,"
<i>TP</i>	<i>TP_BAD</i>	"Мощности в станко-часах в расчете на 1 месяц недостаточно для выполнения производственной программы. Необходимо купить оборудование."

Рекомендации, сформированные для разных индикаторов (EP и TP), но полученные после выполнения одного и того же правила (рекомендация EP_TP_BAD), выводятся только один раз. Рекомендации, сформированные более сложными (составными) правилами (рекомендация EP_TP_BAD), перекрывают рекомендации более простых правил (рекомендации EP_BAD , TP_BAD). Таким образом, в качестве рекомендаций по балансировке производственных мощностей предприятия пользователь получит следующие сведения:

«Мощности в человеко-часах и мощности в станко-часах в расчете на 1 месяц недостаточно для выполнения производственной программы. Необходимо

выполнить следующие действия: купить оборудование, нанять работников, ...»

Работа МППР ИСТПП в задаче балансировки производственных мощностей сильно зависит от качества SWRL-правил. Качество SWRL-правил полностью зависит от компетенций эксперта. Качество SWRL-правил с точки зрения логической непротиворечивости контролируется машиной логического вывода на этапе формирования SWRL-правил.

Рассмотрим пример контроля логической целостности правил с применением механизма логического вывода. Эксперт сделал ошибку при составлении SWRL-правил, создав следующие противоречивые правила:

$$\begin{aligned} EP(?ind) \wedge hasValue(?ind, ?val) \wedge swrlb:greaterThan(?val, 2000) \\ \wedge swrlb:lessThanOrEqual(?val, 40000) \rightarrow \rightarrow Middle(?ind) \\ EP(?ind) \wedge hasValue(?ind, ?val) \wedge swrlb:greaterThan(?val, 4000) \rightarrow High(?ind) \end{aligned}$$

После выполнения данных SWRL-правил индикатор EP будет объявлен индивидуалом классов $Middle$ и $High$ одновременно. Так как данные классы объявлены в онтологии непересекающимися (disjoint), машина логического вывода выдаст следующую ошибку:

«An error occurred during reasoning:

Cannot do reasoning with inconsistent ontologies!

Reason for inconsistency: Individual #EP is forced to belong to class #Middle and its complement.»

Таким образом, машина логического вывода позволяет предотвратить возникновение ситуации наличия противоречивых SWRL-правил в составе онтологии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Создание интеллектуальных систем для поддержки технологической подготовки сложных производств является актуальной задачей. Формируемое при этом единое информационное пространство позволяет решать круг задач по повышению эффективности производства. Создание такого информационного пространства является одной из приоритетных задач внедрения CALS-технологий в промышленности. Поэтому для современного предприятия крайне актуальными являются вопросы, связанные с технологическим проектированием, планированием и оптимизацией производства, а также мониторингом и аналитикой.

Созданное программное обеспечение позволило улучшить процессы технологической подготовки производства, включая прогнозирование при вхождении предприятия в новые производственные программы, за счет автоматизации процедур управления производственными мощностями, а также создания единого информационного пространства.

Применение принципов онтологического инжиниринга при построении ИСТПП предполагает возмож-

ность интеграции источников необходимой информации в единую среду с последующим анализом и поиском оптимальных решений управления технологическими процессами и потоками ресурсов, позволяющих существенно сократить возможные издержки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акимов Т.Е., Шишкин В.В. Построение интегрированной информационной среды предприятия авиаприборостроительной отрасли // Автоматизация процессов управления. 2013. № 2 (32). С. 67–73.
2. Подход к балансировке мощностей авиационного завода на основе агентного моделирования / О.Э. Чоркаев [и др.] // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2018. Т. 20, № 4 (3). С. 498–503.
3. Using ontology merging for the integration of information systems and the production capacity planning system / N. Yarushkina, A. Romanov, A. Filippov, A. Dolganovskaya, M. Grigorieva // Proceedings of the Data Science Session at the V International Conference on Information Technology and Nanotechnology. URL: <http://ceur-ws.org/Vol-2416/paper51.pdf> (дата обращения: 01.06.2020).
4. Mendel, J.M., John, R.I.B. Type-2 Fuzzy Sets Made Simple // IEEE Transactions on Fuzzy Systems. 2002. 10/2. pp. 117–127.
5. Guarino N., Musen M.A. Ten years of Applied Ontology // Applied Ontology. IOS Press. 2015. Vol. 10 (3–4). pp. 169–170.
6. SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML. URL: <https://www.w3.org/Submission/SWRL/> (дата обращения: 01.06.2020).
7. The description logic handbook: Theory, implementation and applications / F. Baader et al. Cambridge university press, 2003.

8. Bonatti P.A., Tettamanzi A.G.B. Some complexity results on fuzzy description logics // *International Workshop on Fuzzy Logic and Applications*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2003. pp. 19–24.

9. Description logic programs: combining logic programs with description logic / B.N. Grosz et al. // *Proceedings of the 12th international conference on World Wide Web*. 2003. pp. 48–57.

10. O'Connor M.J., Das A.K. SQWRL: a query language for OWL // *Proceedings of the 6th International Workshop on OWL: Experiences and Directions (OWLED)*. 2009. Vol. 529. URL: http://ceur-ws.org/Vol-529/owled2009_submission_42.pdf (дата обращения: 01.06.2020).

REFERENCES

1. Akimova T.E., Shishkin V.V. Postroenie integrirovannoi informatsionnoi sredy predpriiatiia aviapriborostroitelnoi otrasli [Modeling of Integrated Information Environment of the Enterprise of the Aircraft Instrument Engineering Industry]. *Avtomatizatsiia protsessov upravleniia* [Automation of Control Processes], 2013, no. 2 (32), pp. 67–73.

2. Chorakaev O.E. et al. Podkhod k balansirovke moshchnostei aviatsionnogo zavoda na osnove agentnogo modelirovaniia [Approach to the Balancing of Aviation Factory Capacities Based on Agent Modeling]. *Izvestiia Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk* [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2018, vol. 20, no. 4 (3), pp. 498–503.

3. Yarushkina N., Romanov A., Filippov A., Dolganovskaia A., Grigoricheva M. Using Ontology

Merging for the Integration of Information Systems and the Production Capacity Planning System. *Proceedings of the Data Science Session at the 5 Int. Conf. on Information Technology and Nanotechnology*. Available at: <http://ceur-ws.org/Vol-2416/paper51.pdf> (accessed 01.06.2020).

4. Mendel, J.M., John, R.I.B. Type-2 Fuzzy Sets Made Simple. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2002, 10/2, pp. 117–127.

5. Guarino N., Musen M.A. Ten Years of Applied Ontology. *Applied Ontology*, IOS Press, 2015, vol. 10 (3-4), pp. 169–170.

6. SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML. Available at: <https://www.w3.org/Submission/SWRL/> (accessed 01.06.2020).

7. Baader F. et al. *The Description Logic Handbook: Theory, Implementation and Applications*. Cambridge University Press, 2003.

8. Bonatti P.A., Tettamanzi A.G.B. Some Complexity Results on Fuzzy Description Logics. *International Workshop on Fuzzy Logic and Applications*. Springer, Berlin, Heidelberg, 2003. pp. 19–24.

9. Grosz B.N. et al. Description Logic Programs: Combining Logic Programs with Description Logic. *Proceedings of the 12th International Conference on World Wide Web*. 2003, pp. 48–57.

10. O'Connor M.J., Das A.K. SQWRL: A Query Language for OWL. *Proceedings of the 6th International Workshop on OWL: Experiences and Directions (OWLED)*. 2009, vol. 529. Available at: http://ceur-ws.org/Vol-529/owled2009_submission_42.pdf (accessed 01.06.2020).