

# Подход к управлению производством на основе данных

А.А. Романов<sup>1</sup>, А.А. Филиппов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ульяновский государственный технический университет, Северный Венец 32, Ульяновск, Россия, 432027

**Аннотация.** В настоящее время существующих подходов и средств формализации моделей производства недостаточно для управления сложными производственными процессами. Вместо этого используется принятая в отрасли промышленная методология, сформированная на основе усредненных показателей в отрасли. Накопленные данные в системах автоматизации различных производственных предприятий представляют большой интерес с точки зрения анализа. В ходе анализа извлекаются важные для управления предприятием знания. В статье приводится исследование, сутью которого является создание гибридного подхода для анализа динамики производственных показателей и вывода рекомендаций в лингвистической форме с целью повышения оперативности и качества принятия управленческих решений. Гибридизация состоит в применении онтологии для описания особенностей производства в контексте производственных индикаторов, представленных моделями временных рядов.

## 1. Введение

Для современных сложных производств недостаточно возможностей существующих формальных моделей производственных процессов при организации управления на основе данных с учетом динамики производства [1, 2]. В рамках данного исследования в качестве примера производственного предприятия рассматривается самолетостроительное производство.

Самолеты — сложные системы, обладающие как количественной сложностью, определяемой объемом составных частей, так и качественной сложностью, заключающейся в сложности производственных процессов и высокой степени неопределенности, обусловленной интегральным влиянием множества внешних и внутренних факторов.

Современные производственные предприятия выпускают линейку систем и их модификаций, что обуславливает динамическую природу производственных процессов и необходимость их адаптации к изменяющейся природе проблемной области.

В настоящее время для представления производства и управления производственными мощностями используется принятая в отрасли промышленная методология, сформированная на основе усредненных показателей в отрасли, что приводит к возникновению следующих проблем [3]:

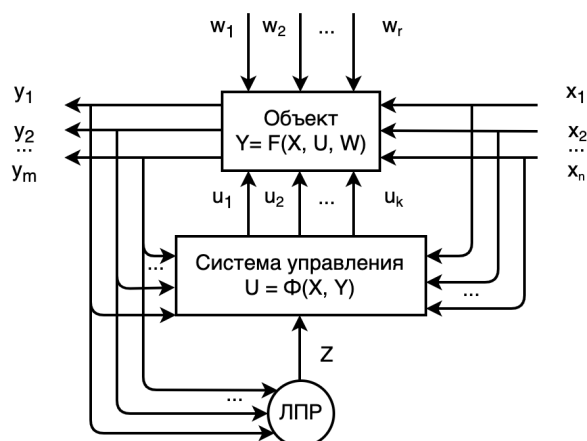
- (i) Для управления производством используется большое количество статистических коэффициентов и допущений.
- (ii) Отсутствуют методы объективной оценки текущего состояния производства.

- (iii) Отсутствуют методы выявления проблем и отклонений в производственных процессах.
- (iv) Частичная или полная автоматизация производственных процессов не предполагает проведение оценки комплексного состояния предприятия:
  - отсутствие адаптируемой модели производства,
  - частое изменение методик расчета показателей оценки,
  - отсутствие возможности выявления скрытых процессов и подпроцессов.

Под управлением производственными мощностями понимается процесс принятия решения о выборе используемого оборудования, планировки и размещения, управлении графиком работ и рабочим временем, материалами и заготовками, узлами и агрегатами. Частью процесса управления является решение задачи балансировки мощностей. Эта задача предполагает поиск сбалансированного, оптимального решения, для выполнения производственной программы, вариантов решения которой может быть несколько.

Данная проблема может быть решена на основе данных, содержащихся в информационных системах предприятия, с применением нечетких моделей временных рядов.

В данном случае задача схожа с традиционной проблемой ситуационного управления некоторым объектом [1] (рис. 1).



**Рисунок 1.** Иллюстративная схема ситуационного управления объектом.

Как видно из рисунка 1, на управляемый объект воздействуют  $(n + r)$  входов  $X$  и  $W$ . Значение входа  $x_i$  можно оценить в любой момент времени, а для значения входа  $w_j$  такая возможность отсутствует. Объект имеет  $m$  выходов  $Y$ . Предполагается, что изменения входных значений  $X$  и  $W$  влияют на выходные значения  $Y$ , то есть существует некоторая неявная закономерность  $Y = f(X, W)$ . Выходные значения  $Y$  обычно важны в процессе принятия решений об управлении объектом. Лицу, принимающему решения (ЛПР), необходимо добиться определенных значений выходных параметров  $Y$ , при этом ЛПР не может влиять на входные значения  $X$  и  $W$ . Воздействие на систему происходит через значения  $u$ , таким образом, формируется новая закономерность  $Y = F(X, U, W)$ . Необходимо найти такие значения управляющего воздействия  $U$ , при которых выходные значения  $Y$  при известных входных значениях  $X$  и неизвестных входных значениях  $W$ , будут удовлетворять ЛПР. Функция управления при этом будет иметь вид  $U = \Phi(X, Y)$ .

## 2. Постановка задачи управления производством на основе данных

Таким образом, сформулируем основную цель исследования — снижение степени неопределенности в процессе управления производственными мощностями сложного

производства, каждое из которых имеет свои особенности и является нетрадиционным объектом управления в понятии теории ситуационного управления [1].

Расчет баланса мощностей предприятия включает:

- заполнение технологического паспорта предприятия;
- расчет мощностей по каждому технологическому переделу, цеху, участку и предприятию в целом;
- разработку мероприятий по устранению дефицита мощностей;
- формирование сводной справки о прогнозе выполнения товарной программы;
- расчет консолидированного баланса мощностей.

Тогда к задачам исследования будут отнесены следующие пункты:

- сбор данных о производственном предприятии путем интеграции с информационным обеспечением предприятия (консолидация, ETL) [4],
- анализ динамики производственных показателей (анализ и моделирование временных рядов),
- формирование рекомендаций для лица, принимающего решения, по модификации производства в части балансировки производственных мощностей.

Анализ динамики производственных процессов производится с применением предложенных моделей и методов анализа временных рядов на основе нечетких множеств типа 2. Результаты моделирования временных рядов производственных индикаторов являются входными данными для подсистемы формирования рекомендаций.

### 3. Модель временного ряда на основе нечетких множеств типа 2

Применительно к проблеме моделирования временных рядов нечеткие множества типа 2 позволяют промоделировать неопределенность более высокого порядка [5]. 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  $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x, u) \leq 1$ . Т.к. основная функция принадлежности находится в интервале от 0 до 1, то внешний вид нечеткого множества выражается как:

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

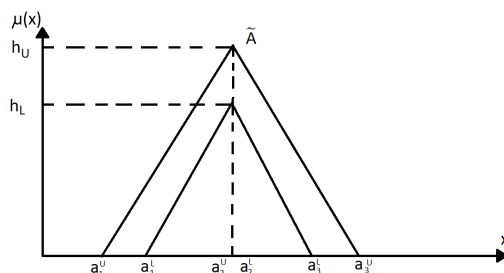
где оператор  $\int \int$  обозначает объединение по всем входящим  $x$  и  $u$ .

Для моделирования временных рядов определим также интервальные нечеткие множества и их форму. Внешний вид множеств представлен на рисунке 2.

Треугольные нечеткие множества определяются следующим образом:

$$\tilde{A}_i = (\tilde{A}_i^U, \tilde{A}_i^L) = ((a_{i1}^u, a_{i2}^u, a_{i3}^u, h(\tilde{A}_i^U)), (a_{i1}^l, a_{i2}^l, a_{i3}^l, h(\tilde{A}_i^L))).$$

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).



**Рисунок 2.** Вид верхней и нижней функции принадлежности.

При работе с базой правил, построенной по значениям временного ряда, потребуется операция объединения нечетких множеств типа 2. Определим ее следующим образом:

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

Алгоритм прогнозирования временного ряда, смоделированного при помощи нечетких множеств типа 2:

- (i) Определить универсум для значений ряда.  $U = [U_{min}, U_{max}]$ , где  $U_{min}$  и  $U_{max}$  минимальное и максимальное значение временного ряда соответственно.
- (ii) Задать функции принадлежности для временного ряда  $M = \{\mu_1, \dots, \mu_l\}$ ,  $l \ll n$ , где  $l$  – количество функций принадлежности нечетким множествам,  $n$  – длина временного ряда. Количество функций принадлежности и, соответственно, количество нечетких множеств выбирается достаточно небольшим. Мотивация данного решения – многоуровневый подход к моделированию временного ряда. На каждом уровне выгодно сокращать количество нечетких множеств для сокращения размерности множества отношений. Разумеется это приведет к снижению качества аппроксимации исходного временного ряда. Однако задание собственного набора функций принадлежности на втором и более высоких уровнях приведет к повышению точности аппроксимации с увеличением числа уровней.
- (iii) Определить нечеткие множества для ряда. 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.
- (iv) Фаззифицировать ряд.  $\forall x_i \tilde{y}_i = Fuzzy(x_i)$
- (v) Произвести фаззификацию второго уровня.
- (vi) Установить отношения. Правила фиксируются в виде пар нечетких множеств в части антецедентов и консеквентов, например:  $A_1^1 A_1^2 \dots \rightarrow A_2^1 A^2 1$ .
- (vii) По набору правил произвести вывод прогноза для первого и второго уровней. Прогноз вычисляется центроидным методом сначала на нечетких множествах типа 1  $A^1 = \{A_1^1, \dots, A_l^1\}$ , затем на нечетких множествах типа 2.
- (viii) Оценить ошибки.

#### 4. Резюмирование прогноза временного ряда на основе базы знаний в задаче балансировки производственных мощностей

Резюмирование прогноза временного ряда в задаче балансировки производственных мощностей позволяет лицу, принимающему решение оперативно реагировать на изменения

ситуации на производстве. Для организации базы правил используется онтология [6, 7] следующей структуры:

$$O = \langle V, D, R, F \rangle, \quad (1)$$

где  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_k\}$  — множество индикаторов, определяющих некоторое состояние производственных мощностей предприятия (например, количество оборудования, производительность оборудования, количество сотрудников и т.д.);

$D = \{d_1, d_2, \dots, d_i, \dots, d_k\}$  — множество вариантов резюмирования индикаторов  $V$ .  $d_i$  можно представить в виде следующего выражения:

$$d_i = \{\langle s_1, t_1 \rangle, \langle s_2, t_2 \rangle, \dots, \langle s_j, t_j \rangle, \dots, \langle s_l, t_l \rangle\},$$

где  $s_j$  — характеристика значения индикатора  $d_i$  (например, низкий, средний, высокий);  $t_j$  — текстовое представление состояния индикатора  $d_i$  при определенной характеристике  $s_j$ ;

$R$  — множество отношений онтологии, определяющих связи между индикатором и его вариантами резюмирования;

$F$  — функция интерпретации, заданная алгоритмически, позволяющая определить подмножество вариантов резюмирования  $\hat{D} \in D$ , соответствующих указанным значениям индикаторов.

Для логического представления онтологии базы знаний резюмирования прогноза временного ряда используется расширение дискрипционной логики  $\mathcal{ALCHF}(\mathcal{D})$  [8, 9, 10]. При использовании дискрипционной логики  $\mathcal{ALCHF}(\mathcal{D})$  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.

#### 4.0.1. Терминология $TBox$

$Values \sqsubseteq \top$

$Values \equiv \top \sqcap \exists hasValueToolPower.Double \sqcap \exists hasValueToolCount.Double \sqcap$   
 $\sqcap hasValueEmployeeCount.Double \sqcap hasResume.Resume$

$Resume \sqsubseteq \top$

$Resume \equiv \top \sqcap \exists hasTextDescription.String$

$ToolCount \sqsubseteq Resume$

$ToolCountLow \sqsubseteq ToolCount$

$ToolCountMiddle \sqsubseteq ToolCount$

$ToolCountHigh \sqsubseteq ToolCount$

$ToolPower \sqsubseteq Resume$

$ToolPowerLow \sqsubseteq ToolPower$

$ToolPowerMiddle \sqsubseteq ToolPower$

$ToolPowerHigh \sqsubseteq ToolPower$

$EmployeeCount \sqsubseteq Resume$

$EmployeeCountLow \sqsubseteq EmployeeCount$

$EmployeeCountMiddle \sqsubseteq EmployeeCount$

$EmployeeCountHigh \sqsubseteq EmployeeCount$

где  $Values$  — множество индикаторов  $V$ ;  
 $Resume$  — множество вариантов резюмирования  $D$ ;  
 $ToolCount \sqsubseteq Resume, ToolCountLow \sqsubseteq ToolCount$  — вариант резюмирования индикатора «количество оборудования» при низком его значении;  
 $hasValue^*$  — наименование роли «имеет значение индикатора»;  
 $hasResume$  — наименование роли «имеет вариант резюмирования»;  
 $hasTextDescription$  — наименование функциональной роли «имеет текстовое описание»;  
 $String$  — конкретный домен строкового типа;  
 $Double$  — конкретный домен вещественного числа.

#### 4.0.2. Набор фактов $ABox$

$(Values, Resume) : owl : disjointWith$

$currentValues : Values$

$(currentValues, valueToolPower : Double) : hasValueToolPower$

$(currentValues, valueToolCount : Double) : hasValueToolCount$

$(currentValues, valueEmployeeCount : Double) : hasValueEmployeeCount$

$toolCountLow : ToolCountLow$

$(toolCountLow, valueToolCountLow : String) : hasTextDescription$

...

$employeeCountHigh : EmployeeCountHigh$

$(employeeCountHigh, valueEmployeeCountHigh : String) : hasTextDescription$

4.0.3. Логический вывод по содержимому базы знаний Для организации логического вывода по содержимому базы знаний используется множество запросов на языке SWRL [11], позволяющих отнести индикаторы с определенными показателями к конкретному варианту резюмирования, например:

$hasValueToolCount(?ind, ?val) \wedge swrlb:greaterThanOrEqual(?val, 200) \wedge ToolCountHigh(?res) \rightarrow hasResume(?ind, ?res)$

$hasValueToolCount(?ind, ?val) \wedge swrlb:lessThan(?val, 200) \wedge swrlb:greaterThanOrEqual(?val, 150) \wedge ToolCountMiddle(?res) \rightarrow hasResume(?ind, ?res)$

$hasValueToolCount(?ind, ?val) \wedge swrlb:lessThan(?val, 150) \wedge ToolCountLow(?res) \rightarrow hasResume(?ind, ?res)$

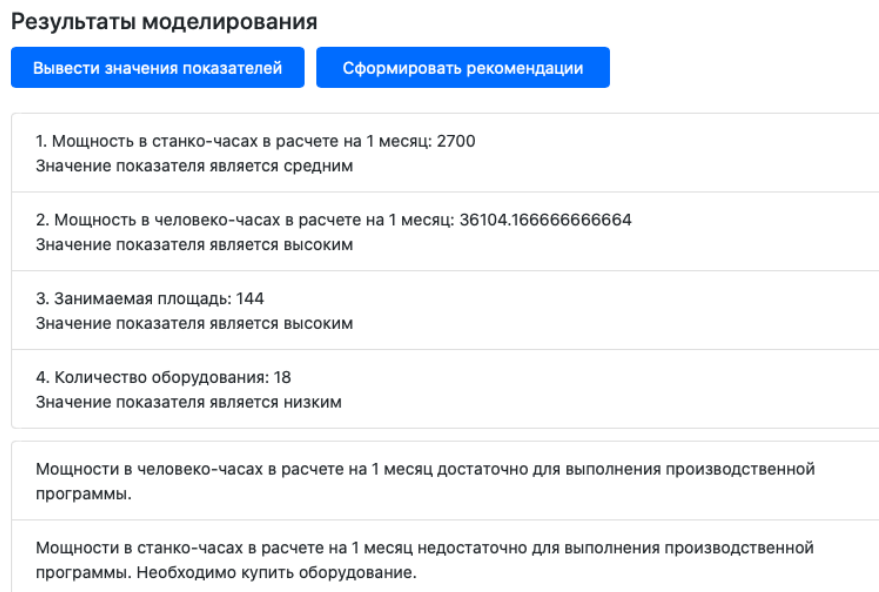
Для получения результатов резюмирования прогноза временного ряда в задаче балансировки производственных мощностей используется запрос на языке SQWRL [12] следующего вида:

$Values(?ind) \wedge hasResume(?ind, ?res) \wedge hasTextDescription(?res, ?descr) \rightarrow sqwrl:select(?res, ?descr)$

В результате выполнения данного запроса формируется резюмирование прогноза состояния производственных мощностей. Например:

ResumeEmployeeCountLow → "Employee count value is low.  
Need more employeys."^^rdf:PlainLiteral  
ResumeToolCountMiddle → "Tool count is middle."^^rdf:PlainLiteral  
ToolPowerMiddle → "Tool power is middle."^^rdf:PlainLiteral

При этом, правила могут быть составлены для учета показателей нескольких индикаторов для формирования более комплексной рекомендации (например, рис. 3).



**Рисунок 3.** Иллюстративный пример логического вывода по результатам моделирования индикаторов производства.

## 5. Заключение

Управление производством на основе данных представляет актуальную область исследований, развитию которой способствуют как существующие на предприятиях системы автоматизации производства, так и объемы накопленных и обрабатываемых в них данных.

В данной статье был предложен подход к анализу динамики производственных показателей на основе моделей временных рядов, отличающихся новым применением нечетких множеств типа 2 и позволяющих моделировать объекты, обладающие более высокой степенью неопределенности.

Предложенный подход позволяет повысить оперативность принятия решений по управлению производственным предприятием, так как в отличие от процесса принятия решений на основе промышленной методологии оперирует не усредненными показателями производства, а реальными, извлеченными из информационных систем предприятия.

Предложенный подход к формированию лингвистических рекомендаций, позволяет лицам, принимающим решения, получить более глубокое понимание текущего состояния производства и более оперативно реагировать на изменения показателей. Процесс формирования лингвистических рекомендаций осуществляется на основе множества нечетких и SWRL-правил.

## 6. Благодарности

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

## 7. Литература

- [1] Поспелов, Д.А. Ситуационное управление: теория и практика – М.: Наука, 1986. – 288 с.
- [2] Акимова, Т.Е. Построение интегрированной информационной среды предприятия авиаприборостроительной отрасли / Т.Е. Акимова, В.В. Шишкин // Автоматизация процессов управления. – 2013. – № 2. – С. 67-73.
- [3] Чоракаев О.Э. Подход к балансировке мощностей авиационного завода на основе агентного моделирования // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2018. – Т. 20, № 4-3.
- [4] Yarushkina, N. Using ontology merging for the integration of information systems and the production capacity planning system / N. Yarushkina, A. Romanov, A. Filippov, A. Dolganovskaya, M. Grigoricheva / CEUR-WS Proceedings. – 2019. – Vol. 2416.
- [5] Mendel, J.M. Type-2 Fuzzy Sets Made Simple / J.M. Mendel, R.I.B. John / IEEE Transactions on Fuzzy Systems. – 2002. – Vol. 10(2). – P. 117-127.
- [6] Gruber, T. Ontology. Entry in the Encyclopedia of Database Systems – Springer US, 2009.
- [7] Guarino, N. Ten years of Applied Ontology / N. Guarino, M.A. Musen / Applied Ontology. IOS Press. – 2015. – Vol. 10(3-4). – P. 169-170. DOI: 10.3233/AO-150160.
- [8] Baader, F. The Description Logic Handbook: Theory, Implementation, and Applications / F. Baader, D. Calvanese, D. McGuinness, D. Nardi, P.F. Patel-Schneider – Cambridge University Press, 2003.
- [9] Bonatti, P. Some complexity results on fuzzy description logics / P. Bonatti, A. Tettamanzi / International Workshop on Fuzzy Logic and Applications, LNCS. – 2004. – Vol. 2955.
- [10] Grosz, B. Description logic programs: Combining logic programs with description logics / B. Grosz, I. Horrocks, R. Volz, S. Decker // Proc. of WWW, Budapest, Hungary, 2003. – P. 48-57.
- [11] SWRL: A Semantic Web Rule Language Combining OWL and RuleML [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.w3.org/Submission/SWRL/> (25.12.2019).
- [12] O'Connor, M.J. SQWRL: a Query Language for OWL / OWL: Experiences and Directions (OWLED) / M.J. O'Connor, A. Das // 6th International Workshop, Chantilly, VA, 2009.

## Approach to data-driven enterprise decision-management

A.A. Romanov<sup>1</sup>, A.A. Filippov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ulyanovsk State Technical University, Severny Venetz str. 32, Ulyanovsk, Russia, 432027

**Abstract.** Currently, the exists approaches and tools are not enough for formalizing the production model and production processes of complicated productions. The industrial methodology based on averaged indicators is applied now for decision management. The accumulated data in the automation systems of various productions have great interest for analysis. Important for decision management knowledge is extracted from that data during the analysis. The main idea of the research is the creation of the hybrid approach for analyzing the dynamics of production indicators and generating linguistic summarization to improve the efficiency and quality of decision-making. Hybridization means the use of the ontology to describe the characteristics of production in the context of production indicators represented by time series models.