

УДК 681.3

Н.Г. Ярушкина, В.Н. Негода, Ю.П. Егоров, В.С. Мошкин, В.В. Шишкин,  
А.А. Романов, Е.Н. Эгов

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ИНЖИНИРИНГА<sup>1</sup>



**Ярушкина Надежда Глебовна**, доктор технических наук, профессор, окончила Ульяновский политехнический институт (УлПИ) по специальности «Электронные вычислительные машины», заведующая кафедрой «Информационные системы» Ульяновского государственного технического университета (УлГТУ). Имеет более 400 научных работ в области мягких вычислений, нечеткой логики, гибридных систем. [e-mail: jng@ulstu.ru].



**Негода Виктор Николаевич**, доктор технических наук, окончил радиотехнический факультет УлПИ, профессор кафедры «Вычислительная техника» УлГТУ. Имеет статьи, монографии и авторские свидетельства в области проектирования встроенных систем контроля и управления. Область научных интересов – автоматизация проектирования логического управления техническими системами. [e-mail: nvn@ulstu.ru].



**Егоров Юрий Петрович**, доктор технических наук, профессор, окончил радиотехнический факультет Ленинградского высшего морского инженерного училища им. С.О. Макарова. Главный научный сотрудник ФНПЦ ОАО «НПО Марс». Специализируется в области макропроектирования больших информационно-управляющих систем. Имеет публикации монографии, изобретения в области проектирования систем управления. [e-mail: yure@mail.ru].



**Мошкин Вадим Сергеевич**, окончил факультет информационных систем и технологий УлГТУ, доцент кафедры «Информационные системы» УлГТУ. Имеет более 60 статей в области интеллектуальных систем анализа данных. [e-mail: v.moshkin@ulstu.ru].



**Шишкин Вадим Викторович**, кандидат технических наук, доцент, окончил радиотехнический факультет Ульяновского политехнического института. Директор Института авиационных технологий и управления УлГТУ. Имеет статьи в области интеллектуального анализа данных. [e-mail: shvv@ulstu.ru].

<sup>1</sup> Исследование проведено в рамках государственного задания Минобрнауки РФ № 2.1182.2017/4.6 «Разработка методов и средств автоматизации производственно-технологической подготовки агрегатно-сборочного самолетостроительного производства в условиях мультипродуктовой производственной программы».



**Романов Антон Алексеевич**, окончил факультет информационных систем и технологий УлГТУ, доцент кафедры «Информационные системы» УлГТУ. Имеет статьи в области интеллектуальных систем хранения и обработки информации. [e-mail: romanov73@gmail.com].



**Эгов Евгений Николаевич**, окончил факультет информационных систем и технологий УлГТУ. Ассистент кафедры «Информационные системы» УлГТУ. Имеет работы в области интеллектуального анализа временных рядов. [e-mail: e.egov@ulstu.ru].

#### Аннотация

В данной статье сформулированы задачи повышения эффективности использования производственных мощностей крупного промышленного предприятия в условиях строго определенных планов производства.

Помимо этого, представлена крупноблочная структура информационного обеспечения процесса электронной технологической подготовки производства на основе онтологического инжиниринга. Также рассмотрены архитектура и основные принципы построения системы балансировки мощностей на примере агрегатно-сборочного самолетостроительного производства.

Также в работе представлены эксперименты по семантической валидации технической документации для разработки автоматизированной системы управления поточной линией сборки АО «Авиастар-СП» с использованием принципов онтологического инжиниринга.

Ключевые слова: информационное обеспечение, онтология, балансировка мощностей, самолетостроение, агрегатно-сборочное производство.

#### Abstract

This article outlines the tasks of increasing the efficiency of using the production capacities of a large industrial enterprise in the context of strictly defined production plans.

In addition, there is a large-block structure of information support for the process of electronic technological preparation of production on the basis of ontological engineering. The architecture and basic principles of constructing a power balancing system are considered using the example of aggregate-assembly aircraft manufacturing.

Also, the paper presents experiments on the semantic validation of technical documentation for the development of an automated control system for the assembly line of the Aviastar-SP joint venture using the principles of ontological engineering.

Key words: information support, ontology, power balancing, aircraft construction, aggregate-assembly production.

#### 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. Достижение данной цели требует решения ряда важных задач, касающихся информационной составляющей технологической подготовки производства [1]:

- 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 (АС) поддержки производства, обеспечивающей учет и ана-

лиз 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 с использованием современных методологий построения терминологического окружения производства. Принципы онтологического инжиниринга, как области инженерии знаний [2], позволяют извлекать необходимые знания из крупных корпусов технологической документации, обеспечивать ее семантическую валидацию на ранних этапах подготовки производства, а также 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, таких как агрегатно-сборочное самолетостроительное производство АО «Авиастар-СП».

### АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ БАЛАНСИРОВКИ МОЩНОСТЕЙ

Процесс балансировки мощностей заключается в определении потребности различных ресурсов предприятия для своевременного выполнения производственного плана. К основным ресурсам предприятия относят персонал, оборудование и площади производства [5].

При разработке системы, позволяющей планировать балансировку мощностей производства, особое внимание следует обращать на то, что уже существует фрагментарная автоматизация. Существующее информационное обеспечение, как правило, покрывает потребности при выполнении основных задач. Основные проблемы, которые требуется решить в таком случае, можно обозначить так:

1. Интеграция с существующим информационным обеспечением. Требуется решить задачу совмещения интерфейсов, типов данных. Интеграция позволяет избежать дублированного ввода данных, что в свою очередь сокращает нагрузку на лиц, ответственных за актуализацию данных. И чем больше лиц задействовано в работе системы, тем более прозрачна будет для них такая интеграция.

2. Ввод дополнительных данных для решения задачи балансировки. Расчеты при вычислении балансировки могут требовать данных, не содержащихся в базах данных (БД) предприятия, иметь неподходящий вид [7].

Для решения поставленных задач следует предусмотреть два крупных архитектурных блока: блок согласования интерфейсных частей и блок дополнения полученной информации (рис. 1). Для облегчения сопровождения указанной интерфейсной части следует выделить ее либо в качестве независимого модуля, либо в качестве сервисного программного обеспечения (ПО), т. к. при изменчивости типов данных нагрузка по их согласованию должна полностью ложиться на этот компонент и не затрагивать работу систем предприятия и системы расчета балансировки.

С точки зрения проектируемой системы, потребуются наличие собственной БД для хранения дополненных данных, промежуточных расчетов. Кроме того, отчеты носят периодический характер, а самой трудоемкой операцией выступают ввод и актуализация данных. Для облегчения труда ответственного лица по подготовке отчета предусматривается наличие версионности как в данных, используемых для подготовки отчета, так и самих отчетов.

Задача построения системы балансировки мощностей заключается в возможности проведения предварительного расчета с целью проверки, можно ли выполнить указанный объем работ на текущей конфигурации производства. Эта задача может быть решена, если в систему предварительно ввести сведения о программе производства, которая в ходе расчета может быть раз-

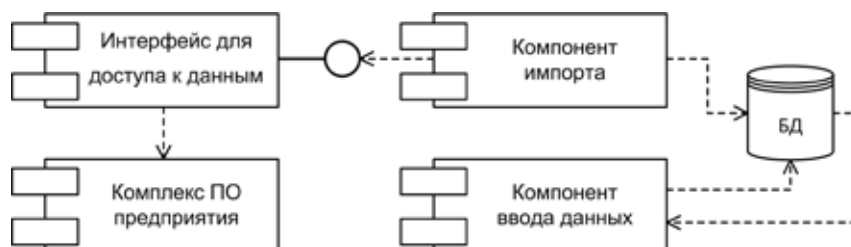


Рис. 1. Согласование интерфейсов

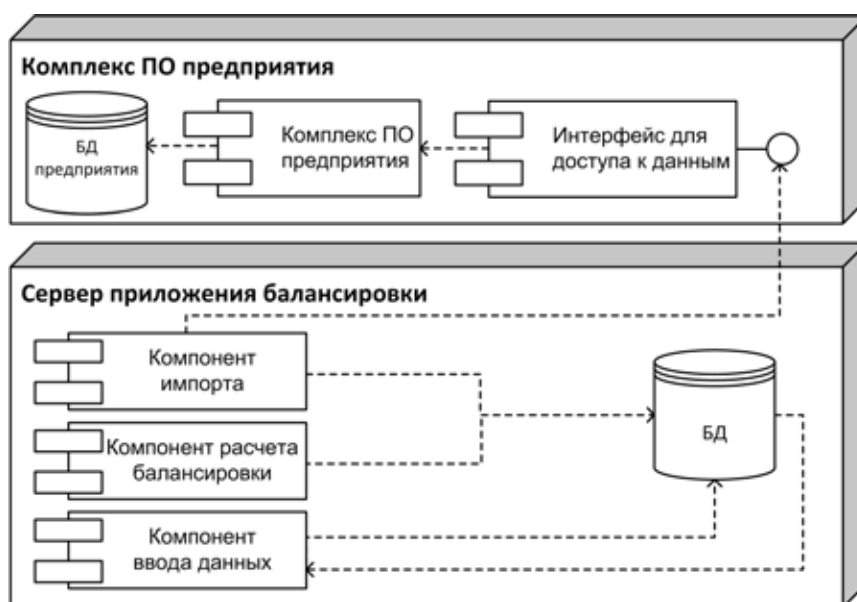


Рис. 2. Общий вид компонентов системы

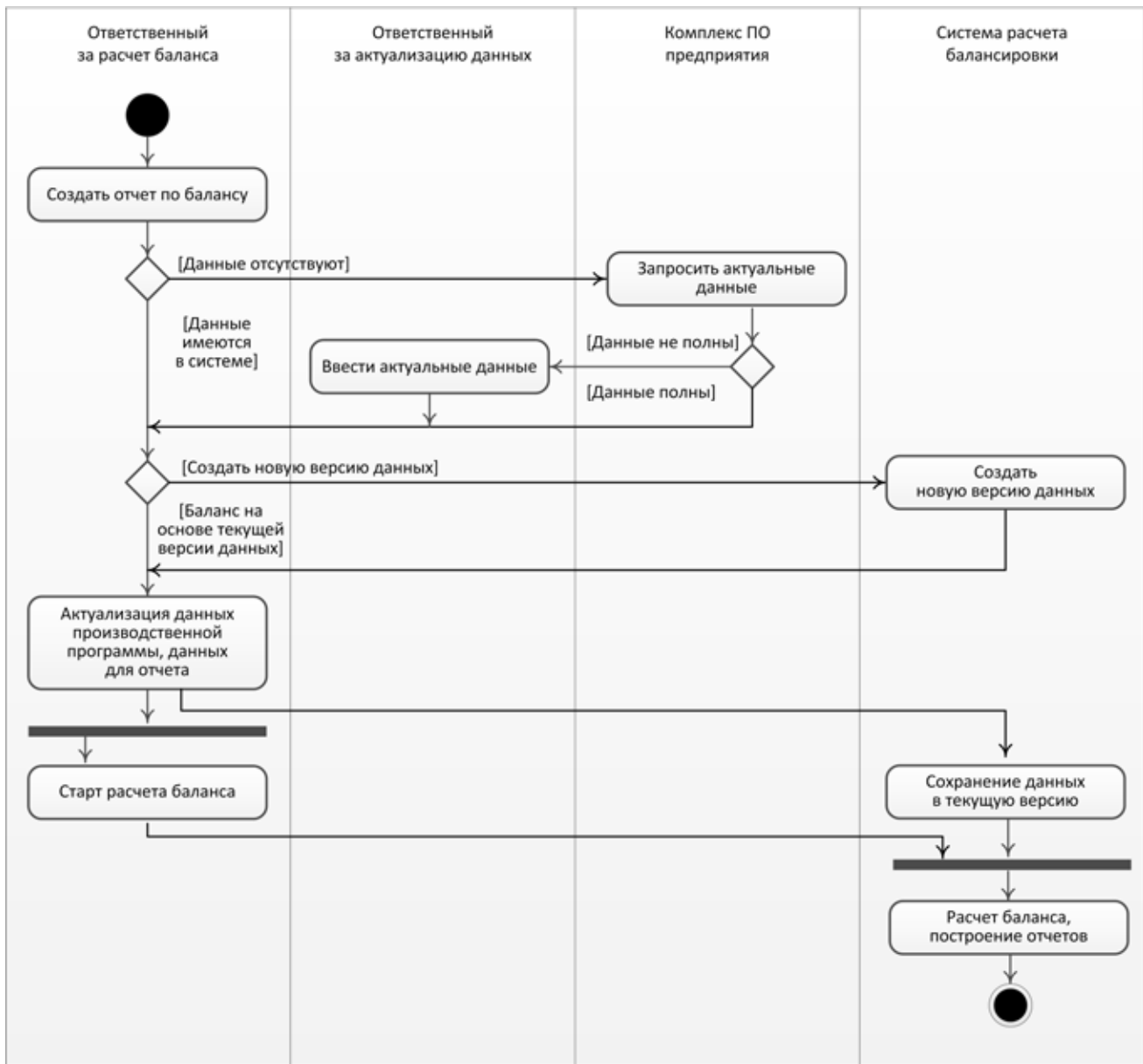


Рис. 3. Последовательность выполнения операций при расчете баланса

ложена на составляющие операции [6]. Далее следует шаг, на котором рассчитывается дефицит или профицит мощностей оборудования по каждому из видов операций. Так как одновременно все производственные мощности не могут быть заняты, возникает возможность частичной параллельной загрузки оборудования для участия в разных производственных процессах или производстве разных частей продукции. Расчет также требует ввода данных о производственной программе, причем его можно вынести в отдельный компонент. Общая структура системы представлена на рисунке 2.

Управление версиями данных и отчетов производится в соответствии со схемой (рис. 3).

Для системы расчета баланса можно выделить следующие основные роли пользователей:

1. Администратор системы. Выполняет импорт данных из комплекса ПО предприятия.



Рис. 4. Сценарии взаимодействия

2. Ответственный за составление отчета по балансировке. Создает версии данных и ответов. Актуализирует данные в системе расчета балансировки.

3. Ответственный за актуализацию данных в системе предприятия.

Функции ролей «Администратор» и «Ответственный за составление отчета» могут быть объединены. На рисунке 4 представлены возможные сценарии взаимодействия пользователей с системой.

### **Крупноблочная структура информационного обеспечения**

Первым шагом для расчета потребностей производства является сбор актуальных данных по всем видам ресурсов предприятия. Наиболее удобным вариантом получения подобных данных будет наличие базы данных или автоматизированной системы управления ресурсами предприятия, откуда можно быстро и оперативно получить максимум необходимой информации. Если рассматривать крупное предприятие, то у него может существовать несколько различных БД и АС, отвечающие за учет различных ресурсов. Первоочередной задачей в таком случае становится определение БД, таблиц в этих БД, либо же АС, из которых можно получить данные. Так как данные приходят с разных источников разумным будет создать ряд модулей, которые будут получать данные по различным ресурсам. Выделены следующие модули:

- модуль для получения данных по персоналу (МП);
- модуль для получения данных по оборудованию (МО);
- модуль для получения данных по площадям (МПл);
- модуль для получения данных по производственным программам (МПП).

#### **Модуль для получения данных по персоналу**

Данный модуль предназначается для получения данных по персоналу. К этим данным относятся различные количественные показатели по персоналу в разрезе опыта работы (стажа), квалификации, профессии и т. п., а также различные коэффициенты, связанные с персоналом в разрезе мест их работы (участки, цеха и т. п.). Количественные показатели возможно получать из АС по кадровому учету предприятия. Коэффициенты могут располагаться в системах учета по объектам предприятия (участки или цеха), либо могут вовсе отсутствовать в электронных системах предприятия. В таком случае для системы необходимо предусмотреть вариант ручного ввода данных.

#### **Модуль для получения данных по оборудованию**

Данный модуль предназначается для получения данных по оборудованию. Ключевой модуль, так как на основе данных по оборудованию определяется потребность в персонале и дополнительных площадях. Основ-

ными показателями для расчетов балансировки также выступают количественные показатели оборудования в разрезе типа оборудования (например, станки с ЧПУ или высокопроизводительные), срока эксплуатации, видов выполняемых работ. Здесь стоит учитывать, что один и тот же станок может выполнять различные работы, однако занимать будет одну площадь и работать на нем могут одни и те же рабочие. Количественные показатели возможно получать из АС по объектам предприятия (участки или цеха). Данные по коэффициентам могут либо рассчитываться по формулам, исходя из количественных показателей, либо получаться из этой же АС. Третий вариант получения значений коэффициентов – ручное заполнение. К подобным показателям могут относиться средний нормативный срок эксплуатации или коэффициент износа оборудования.

#### **Модуль для получения данных по площадям**

Данный модуль предназначается для получения данных по площадям. Данные по площадям разбиваются по назначению (производственные, складские, административные и т. п.). При балансировке мощностей определяется потребность различных площадей, в частности производственных, при изменении программы производства. Данные по площадям возможно получать из АС по объектам предприятия (участки или цеха) либо через ручной ввод.

#### **Модуль для получения данных по производственным программам**

Еще один ключевой модуль в программе балансировки. Через модуль получается полный план программы производства с указанием необходимых работ, а также указанием загруженности по различным участкам (цехам) предприятия по этим работам. На основе плана производства определяется загруженность имеющегося оборудования и потребность в дополнительном оборудовании. Исходя из потребностей по оборудованию определяется потребность в дополнительных площадях и дополнительном персонале.

#### **Модуль ручного ввода (МРВ)**

Данный модуль может присутствовать в системе, но он необязательный. Он необходим, если по каким-либо причинам данные, требуемые для расчетов, невозможно получить из существующих на предприятии БД и АС. К подобным причинам можно отнести:

- закрытость доступа к БД и АС по правилам безопасности;
- расположение БД и АС в различных подсетях, к которым отсутствует доступ (физический или по правилам безопасности);
- отсутствие необходимых данных в БД.

Объем данных, которые необходимо будет вносить вручную зависит исключительно от полноты и доступности БД предприятия. Единственно, что стоит учитывать

при разработке этого модуля, что вносить данные могут различные люди с различных рабочих мест, а значит, требуется система авторизации и аутентификации для разграничения доступа к данным в системе.

### Модуль ОБРАБОТКИ (МОБР)

Это основной модуль программы, который будет инициировать запуск остальных модулей по необходимости. Первый этап работы модуля – это обращения к модулям для заполнения исходных данных. После сбора данных идет проверка полноты. Если чего-то не хватает, то подключается модуль ручного ввода, для заполнения недостающих сведений. По завершении заполнения данных запускается непосредственно обработка данных, в рамках которой происходит расчет баланса мощностей предприятия и анализ полученных показателей. Результат работы модуля выгружается в электронные таблицы и сохраняется в БД.

### СЕМАНТИЧЕСКАЯ ВАЛИДАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ НА ОСНОВЕ ПРЕДМЕТНОЙ ОНТОЛОГИИ

При формировании информационного обеспечения процесса технологической подготовки производства важной задачей является унификация терминологии, описывающей весь жизненный цикл изделия.

Целью прикладной онтологии при решении подобных задач является создание модели данных, которая должна:

- обеспечивать общую терминологию для предметной области, для совместного использования и понимания всеми пользователями;
- давать точное и непротиворечивое определение значения каждого термина;
- обеспечивать задание семантики с помощью множества аксиом, которые автоматически позволяют получать ответ на множество вопросов о предметной области.

Онтология определяет язык, при помощи которого выражается семантическая часть словаря. С целью унификации терминологии в процессе разработки технической документации автоматизированной системы управления поточной линией сборки (АСУ ПЛС) АО «Авиастар-СП» была разработана предметная онтология, состоящая из 140 классов и их объектов, а также 26 свойств типа данных и свойств объектов.

Порядок проведения экспериментов:

1. Без помощи разработанной системы была составлена начальная версия технического задания (ТЗ) по соответствующему проекту.

2. Было разработано ядро OWL-онтологии, по предметной области АСУ ПЛС тяжелых самолетов. Разработанное ядро онтологии предполагает следующую структуру:

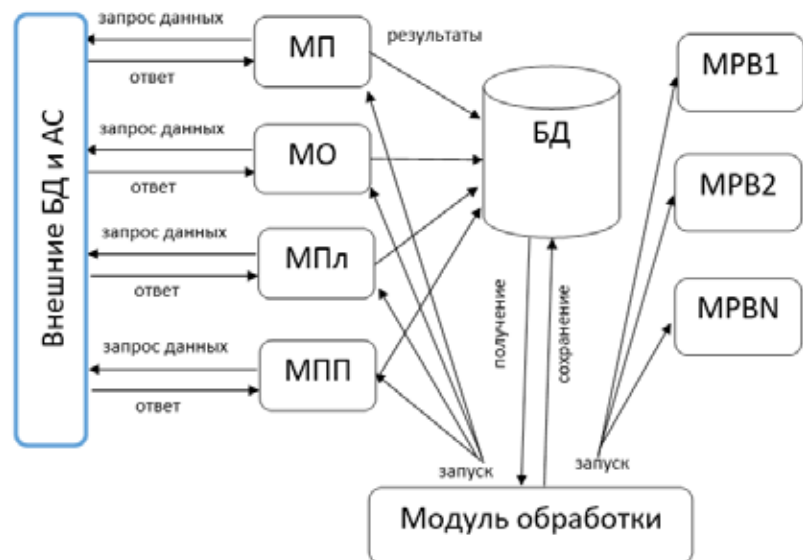


Рис. 5. Схема взаимодействия модулей

$$O = (T, R^D, F),$$

где  $T$  – термины прикладной области, которую описывает онтология. Множество терминов представлено в виде:

$$T = \{Obj, Is, Proc, Doc, St\},$$

где

$Obj$  – множество базовых элементов сборки самолетов;

$Is$  – множество объектов онтологии, перечисляющих классы и базовые модули информационных систем, автоматизирующих представленные технологические процессы;

$Proc$  – множество категорий технологических процессов, выполняемых в процессе сборки самолета;

$Doc$  – множество категорий документации, предоставляемой в рамках проекта;

$St$  – множество стандартов, регулирующих порядок и структуру необходимой проектной документации;

$R^D$  – множество отношений между объектами онтологии:

$$R^D = \{R_{DTP}, R_{OP}\},$$

где  $R_{DTP}$  – множество отношений типов данных (Data Type Properties),  $R_{OP}$  – множество отношений между объектами онтологии (Object Properties);

$F$  – множество функций интерпретации (аксиоматизации), заданных на терминах и/или отношениях онтологии.

3. Были выбраны наиболее часто используемые в процессе обучения специалистов в данной области ресурсы и учебные пособия, среди которых:

- учебное пособие «Проектирование приспособлений, прочностные расчеты, расчет точности сборки» (Колганов И.М., Филиппов В.В.) [3].

- учебник для студентов авиационных специальностей

стей вузов «Технология сборки самолётов» (Ершов В.И., Павлов В. В., Каширин М. Ф., Хухорев В.С.) [4].

4. С целью исправления семантических ошибок и расширения терминологической составляющей ТЗ, к данным ресурсам, а также к текущей версии ТЗ, были применены разработанные алгоритмы онтологического расширения ядра онтологии на основе извлечения терминов. Лучшие результаты показал тезаурусный алгоритм [5], эффект применения которого в процессе разработки промежуточных и конечных версий ТЗ приведен на рисунке 6. В качестве характеристик, определяющих семантическую адекватность разработанного ТЗ, были выделены следующие показатели: количество используемых в тексте ТЗ аббревиатур, количество определений и число исправленных смысловых ошибок.

Извлечение схожих синтагматических структур из проверенных учебных и методических пособий и текущей версии ТЗ позволило провести оценку семантической адекватности и целостности разрабатываемой документации [6, 7].

Как видно из результатов экспериментов, применение разработанных алгоритмов уже после первой итерации позволило значительно снизить количество семантических ошибок в тексте ТЗ, а количество определений, включенных в структуру ТЗ, возросло в 1,7 раза.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применение принципов онтологического инжиниринга при построении информационного обеспечения процесса электронной технологической подготовки производства предполагает возможность интеграции источников необходимой информации в единую среду с последующим анализом и поиском оптимальных решений управления технологическими процессами [8, 9] и потоками ресурсов, позволяющих существенно сократить возможные издержки.

Помимо этого, результаты проведенных исследований на реальном проекте разработки документации АСУ ПЛС показали, что использование методов онтологического инжиниринга позволяет значительно повысить семантическую точность и актуальность проектной документации, касающейся областей, для которых характерно большое количество специализированной терминологии.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ярушкина Н.Г., Вельмисов А.П., Стецко А.А. Средства Data Minig для нечетких реляционных серверов данных // Информационные технологии. – 2007. – № 6. – С. 20–29.



Рис. 6. График снижения количества смысловых ошибок в ТЗ АСУ ПЛС

2. Зинченко Л.А., Курейчик В.М., Редько В.Г. Бионические информационные системы и их применение. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 288 с.

3. Колганов И.М., Филиппов В.В. Проектирование приспособлений, прочностные расчеты, расчет точности сборки: учеб. пособие. – Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 99 с.

4. Технология сборки самолётов: учебник для студентов авиационных специальностей вузов / В.И. Ершов, В.В. Павлов, М.Ф. Каширин, В.С. Хухорев. – М.: Машиностроение, 1986. – 456 с.

5. Оценка терминологичности лексических единиц на основе онтологии предметной области / И.А. Андреев, В.А. Башаев, В.В. Клейн, В.С. Мошкин, Н.Г. Ярушкина // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем (OSTIS-2015): матер. V-й Междунар. научн.-техн. конф. (Минск, 19–21 февраля 2015 г.) / редкол.: В.В. Голенков (отв. ред.) [и др.]. – Минск: БГУИР, 2015. – С. 395–400.

6. Интеллектуальный анализ проектных и терминологических метрик в управлении проектами / В.С. Мошкин, А.Н. Пирогов, И.А. Тимина, В.В. Шишкин, Н.Г. Ярушкина // Автоматизация процессов управления. – 2016. – № 4 (46). – С. 84–91.

7. Филиппов А.А., Мошкин В.С., Шалаев Д.О., Ярушкина Н.Г. Единая онтологическая платформа интеллектуального анализа данных // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. Open Semantic Technologies for Intelligent Systems (OSTIS-2016). – Минск: БГУИР, 2016. – С. 77–82.

8. Ярушкина Н.Г. Современный интеллектуальный анализ нечетких временных рядов // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: сб. науч. тр. V-й междунар. науч.-практ. конф. В 2-х т. Т. 1. – 2009. – С. 19–29.

9. Ярушкина Н.Г. Нечеткие нейронные сети с генетической настройкой // Научная сессия МИФИ-2004 «Нейроинформатика-2004». VI-я Всероссийская научно-техническая конференция. Лекции по нейроинформатике. Ч.1. По матер. Школы-семинара «Современные проблемы нейроинформатики». – М., 2004. – С. 173.