

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ В ЗАДАЧЕ РАСЧЕТА БАЛАНСА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ

© 2018 Н.Г. Ярушкина, А.А. Романов, А.А. Филиппов

Ульяновский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 01.11.2018

В этой статье сформулированы основные принципы построения автоматизированной системы для балансировки производственных мощностей крупных промышленных предприятий. Кроме того, представлен подход прогнозирования временных рядов в задаче балансировки мощности.
Ключевые слова: балансировка мощностей, временной ряд, прогнозирование.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-47-732054 p_офи_м). Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Ульяновской области в рамках научных проектов № 18-47-732016, № 18-47-730022. 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 мульти-продуктовой производственной программы».

ВВЕДЕНИЕ

Технологическая подготовка комплексного производства на крупном предприятии требует анализа производственных мощностей. Цель заключается в повышении эффективности использования материальных, технических и людских ресурсов на этапе технологической подготовки производства [1]. Достижение цели требует решения нескольких задач:

- определение входных данных;
- создание моделей, отражающих состояние производственных процессов;
- прогнозирование состояний производственных процессов;
- разработка алгоритмов балансировки производственных мощностей.

Решение поставленных задач подразумевает возможность формирования единой информационной среды для технологической поддержки производства.

Мы анализируем производственные процессы авиационного завода. Задача состоит в том, чтобы сбалансировать производственные мощности. Текущий подход управления основан на использовании общей для комплекса предприятий методологии. Методология содержит алгоритмы расчетов и используемые в

них коэффициенты, извлеченные из статистики отрасли. Результатом такого подхода является необходимость адаптации коэффициентов под конкретное производство, которую должны проводить эксперты внутри самого предприятия. Основным недостатком этого подхода является сильное несоответствие между реальными показателями производства и собранными статистическими данными [2].

Обозначим ограничения применения методологии:

- длительный временной интервал извлечения статистических коэффициентов из производственных показателей;
- невозможность динамической адаптации расчетов в отдельные периоды, которые меньше по длительности, чем горизонта прогнозирования;
- методология не предусматривает адаптацию к конкретному производству.

Резюмируя, мы можем отметить значительное усреднение в расчетах, что снижает точность. Анализируя эти методы, легко видеть, что коэффициенты представляют собой агрегированную и усредненную информацию из показателей производственных процессов.

Такие процессы легко представимы дискретными временными рядами (ВР). При анализе производственных процессов было установлено, что интервал дискретизации является месяцем - минимальным горизонтом прогноза и временем, в течение которого индикаторы остаются неизменными.

1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Для моделирования производственных процессов, а именно отслеживания изменения зна-

Ярушкина Надежда Глебовна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные системы». E-mail: jng@ulstu.ru

Романов Антон Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы». E-mail: romanov73@gmail.com

Филиппов Алексей Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационные системы». E-mail: al.al.filippov@gmail.com

чений их показателей, предлагается использовать механизм временных рядов. Для решения данной задачи была проанализирована методика расчета баланса мощностей. Было выяснено, что не все коэффициенты, участвующие в расчетах должны быть заданы экспертом или методикой.

Мы извлекаем следующие типы временных рядов:

- фонд рабочего времени сотрудников;
- количество персонала;
- время работы инструмента;
- коэффициент производительности;
- использование площадей;
- износ инструмента.

Для всех типов процессов мы определяем месячные значения показателей. Теперь мы можем идентифицировать модели процессов, используя временные ряд.

Отметим характеристики этих временных рядов. Ряды, содержащие значения коэффициентов (коэффициент производительности, использование площадей, износ инструмента) не обладают характеристиками сезонности, их значения меняются не чаще одного раза в год. Ряды остальных коэффициентов задаются экспертно, могут иметь незначительные изменения в течение года, например раз в квартал.

2. СИСТЕМА БАЛАНСИРОВКИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ МОЩНОСТЕЙ

Разработанная нами информационная система реализует перечень функций:

- осуществляет расчет производственных мощностей;
- выявляет дефицит и формирует рекомендации по балансировке, определяя возможности перераспределения объемов работ того же типа;
- определяет необходимость ввода дополнительных производственных площадей и оборудования;
- определяет необходимость набора и перемещения работников.

Основными входными данными является содержимое производственной программы. Она устанавливает список продуктов и объем работ для их создания, распределенных по периодам. Основываясь на текущих показателях производственных процессов, их динамике, предприятие может перераспределять объем работы между временными периодами.

Как мы определили выше, существуют три типа ресурсов: человеческие, материальные и производственные. Для проведения балансировки требуется совершить следующие шаги:

1. Определить подразделения, для которых мы балансируем мощности.
2. Для каждого подразделения мы вычисляем текущую мощность для каждого из трех ти-

пов ресурсов.

3. Для каждого подразделения мы определяем свободные мощности для каждого из трех типов ресурсов.

Следующие шаги зависят от типа ресурса. Для человеческих ресурсов нам необходимо установить следующие возможности для балансировки: перевод между подразделениями и найм новых работников. Ограничивающие факторы при этом - навыки конкретных сотрудников при переводе и отсроченный старт работы сотрудника при найме.

Нам нужно добавить алгоритм балансировки следующими шагами:

- Если есть свободные человеческие ресурсы и возможен перевод рабочих, то мы это выполняем.
- В противном случае мы нанимаем работников.

Эти шаги показывают приоритет выбора, который определяется предприятием.

Материальные ресурсы, такие как оборудование и станки, трудно передавать между отделами. Поэтому при балансировке в системе отображаются возможности для перераспределения запланированных работ. Если свободных ресурсов нет, то единственным вариантом является приобретение нового оборудования.

Отметим особенность при расчете производственных площадей. Их перераспределение также невозможно. Предприятие может начать использовать новые производственные площади. Использование производственных площадей напрямую зависит от оборудования, занимающего эти площади. Поэтому на этапе планирования также можно выбрать оптимальный вариант загрузки работами.

Текущая реализация информационной системы основана на средних значениях показателей в течение года. Мы предлагаем анализировать временные ряды индикаторов с более частыми интервалами. В этом важную роль будет определять накопленная информация в корпоративных информационных системах предприятия.

3. ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ТИПА 2 ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Задачи моделирования временных рядов решаются большим количеством методов. Эти методы имеют различный математический аппарат, подразделяются по возможностям применения (т.е. могут иметь частные условия применимости в зависимости от типа решаемой задачи и характера временного ряда), могут требовать постоянного или временного задействования аналитика непосредственно в ходе

процесса моделирования. Важным условием применения методов является нацеленность на получение краткосрочных прогнозов. Оно вытекает из возникающих в последнее время особенностей процессов, для которых применяются модели временных рядов.

Природа нечетких временных рядов обусловлена использованием экспертных оценок, присущая неопределенность которых относится к классу нечеткости. В отличие от стохастической неопределенности нечеткость затрудняет или даже исключает применение статистических методов и моделей, но может быть использована для принятия предметно-ориентированных решений на основе приближенных рассуждений человека. Формализация интеллектуальных операций, моделирующих нечеткие высказывания человека о состоянии и поведении сложных явлений, образует сегодня самостоятельное направление научно-прикладных исследований, получившее название «нечеткое моделирование» [5].

Указанное направление включает комплекс задач, методология решения которых опирается на теорию нечетких множеств, нечеткой логики, нечетких моделей (систем) и гранулярных вычислений.

Построение модели процесса для оценки с начала появления нечеткой логики применяются множества первого порядка (типа 1), которые используются для представления или моделирования неопределенностей предметной области [3]. В 1975 г. Л. А. Заде представил нечеткие множества второго порядка (типа 2) и нечеткие множества более высоких порядков, для устранения недостатков нечетких множеств типа 1. Эти недостатки можно отнести к проблеме, что функции принадлежности отображаются на точные действительные числа. Это не является серьезной проблемой для многих приложений, но в тех случаях, когда известно, что данные системы обладают неопределенностью.

Решением вышеописанной проблемы может стать применение нечетких множеств типа 2, в которых границы областей принадлежности сами являются нечеткими [3]. При каждом зна-

чении переменной x из универсума X значение само является функцией, а не значением в точке. Можно сделать вывод, что данная функция представляет нечеткое множество типа 2, которое является трехмерным, а само третье измерение добавляет новую степень свободы для обработки неопределенностей. В [3] Мендель определяет и дифференцирует два типа неопределенностей, случайных и лингвистических. Первый тип характерен, например, для обработки статистических сигналов, а характеристика лингвистических неопределенностей содержится в системах с неточностями на основе данных, определяемых, например, через высказывания эксперта.

Над нечеткими множествами типа 2 можно выполнять операции объединения, пересечения и дополнения. Т.к. нечеткие множества типа 2 имеют расширенное представление неопределенностей, то это создает дополнительную вычислительную сложность.

Для иллюстрации стоит отметить основные отличия нечетких множеств типа 1 от нечетких множеств типа 2. Обратимся к рисунку 1, иллюстрирующему простую треугольную функцию принадлежности.

На рисунке 1 (а) изображено четкое задание степени принадлежности. При этом любому значению x соответствует только одно точечное значение функции принадлежности. При использовании нечеткой функции принадлежности второго типа графически можно сформировать ее обозначение в виде области, которая называется отпечатком неопределенности (footprint of uncertainty, FOU) [3]. В отличие от случая использования функции принадлежности с четкими границами, значения функции принадлежности типа 2 сами являются нечеткими функциями.

Такой подход дал преимущество в виде приближения нечеткой модели к словесной. Люди могут иметь разные оценки одной и той же неопределенности. Особенно это касается оценочных выражений. Поэтому и возникла необходимость исключить однозначное сопоставление полученного значения степени функции при-

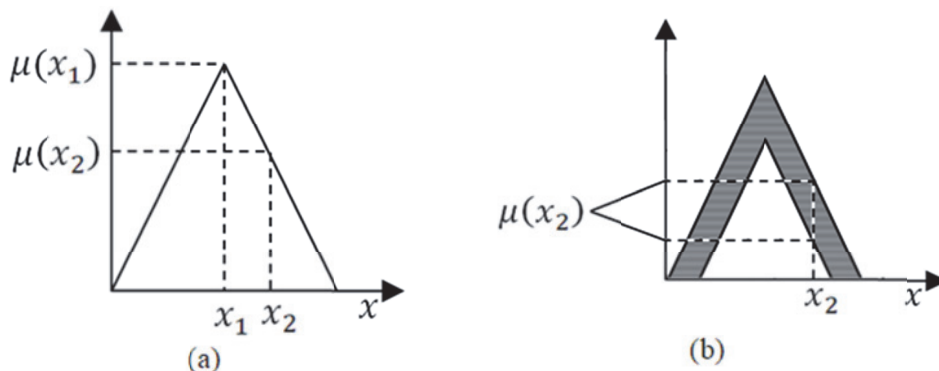


Рис. 1. Вид нечетких множеств 1-ого (а) и 2-ого (б) типов

надлежности. Таким образом, при задании экспертом степеней принадлежности уменьшается риск накопления ошибок из-за не включения точек, расположенных около границ функции и находящихся под сомнением.

Размытие границ - это первый шаг в переходе от нечетких множеств типа 1 к нечетким множествам типа 2. На втором шаге требуется выбирать вид функции принадлежности, как это делаем для нечетких множеств типа 1, например треугольники.

Отличительной особенностью объектов моделирования является наличие неопределенности, имеющей разную природу: порождаемая высказываниями эксперта, неопределенность значений показателей, косвенное влияние скрытых факторов и зависимостей т.д. В современных условиях немаловажное значение приобретают системы управления, способные эффективно моделировать и представлять процессы и объекты, оказывающие большое влияние на достижение целей управления.

Неопределенность, присутствующая в задачах управления деятельностью любого предприятия характеризуется высказываниями экспертов, содержащими неполную информацию, обладающими размытостью и нечеткостью информации об основных параметрах и условиях анализируемой задачи. Таким образом, решение задачи управления становится сложной и порождается множеством факторов. Сочетание этих факторов на практике создает обширный спектр различных видов неопределенности. Поэтому и возникает необходимость использования методов, которые позволяют использовать размытые значения показателей.

4. МОДЕЛЬ ВРЕМЕННОГО РЯДА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ТИПА 2

Применительно к проблеме моделирования выделенных нами типов временных рядов нечеткие множества типа 2 позволяют промоделировать неопределенность выбора значений коэффициентов или значений показателей, определяемых экспертом. В качестве объекта моделирования выберем интервальный временной ряд. Для нашей предметной области, ранее выделенные временные ряды показателей легко представляются такими рядами: для большинства временных рядов характерна редкая смена значений, следовательно, можно говорить об интервалах стабильности. Для интервальных временных рядов описан алгоритм построения модели в статье [6].

Опишем формальную модель временного ряда:

$$TS = \{ts_i\}, i \in N,$$

где $ts_i = [t_i, B_{t_i}]$ - элемент временного ряда в момент времени t_i и значением в виде нечеткого множества типа 2 B_{t_i} . Для всего временно-

го ряда определяется универсум нечетких множеств типа 2 как $U = (B_1, \dots, B_l)$, $B_{t_i} \in U$, $l \in N$, l - количество нечетких множеств в универсуме. Множество B_{t_i} является множеством

типа 2, следовательно, ему в качестве значения сопоставлено нечеткое множество типа 1. Для интервальных временных рядов предпосылкой для создания множеств типа 1 является выделенная из исходного ряда его часть, ограниченная, например, интервалом времени в 1 день, 1 месяц или год. Для выделенного интервала определяется свой универсум нечетких множеств типа 1.

Алгоритм построения модели будем использовать такой же, как и описано в [6], за исключением момента выбора интервалов: они будут определяться на основании не временной характеристики, а границ первоначально формируемых множеств типа 2.

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

5. СГЛАЖИВАНИЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ОСНОВЕ ПРЕДЛОЖЕННОЙ МОДЕЛИ

План экспериментов подразумевает построение моделей временных рядов и оценку их качества. Процесс прогнозирования на данном этапе проводиться не будет, поэтому будет произведена оценка внутренней меры качества модели по критерию SMAPE. Для экспериментов временные ряды были сгенерированы.

Рассмотрим процесс сглаживания коэффициента. Исходный временной ряд имеет 60 точек. Для сравнения на графике рис. 2 приведено сглаживание временного ряда методом F-преобразования [4].

Для сглаживания было выбран набор из 15 нечетких множеств типа 2 и 5 множеств типа 1. Как видно из рисунка, было получено 5 точек сглаженного ряда. Оценка SMAPE для обоих типов сглаживания:

- для F-преобразования - 2,01%,
- для нечетких множеств типа 2 - 0,65%.

Для сглаживания было выбран набор из 15 нечетких множеств типа 2 и 5 множеств типа 1. Для временного ряда было также получено 5 точек сглаженного ряда. Оценка SMAPE для обоих

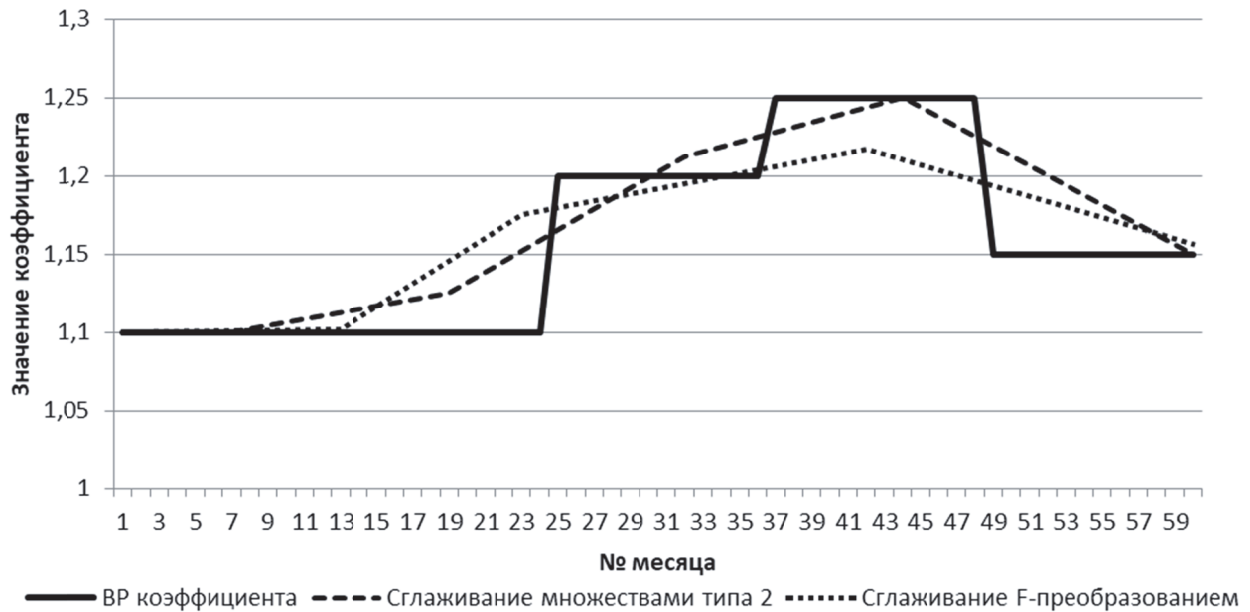


Рис. 2. Сглаживание временного ряда коэффициента

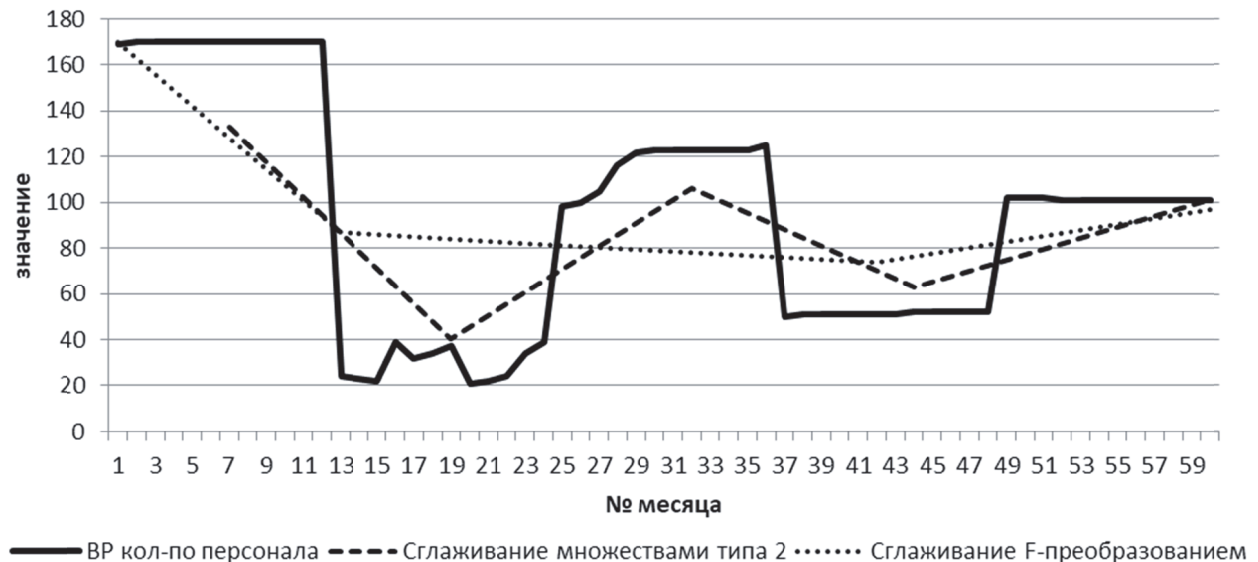


Рис. 3. Сглаживание временного ряда количества персонала

типов сглаживания:

- для F-преобразования – 47,54%,
- для нечетких множеств типа 2 – 13,23%.

Так же было произведено сравнение внутренних мер качества модели по SMAPE с простым экспоненциальным сглаживанием. Оценки показали лучшее на 0,1% качество сглаживания предлагаемым нами методом с использованием нечетких множеств типа 2.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Успешно применен подход, основанный на нечетких множествах второго рода, для формирования модели временного ряда производственных процессов. Отметим, что подход, основанный на моделировании ин-

тервальных временных рядов, дает положительный результат. Этот момент фиксируется в результате процедуры сглаживания, когда количество выделенных точек и их значения максимально приближены к интервалам стабилизации.

Дальнейшими направлениями исследования являются:

- извлечение базы правил из моделей временных рядов;
- создание механизма прогнозирования временных рядов на основании нечетких множеств типа 2;
- разработка моделирующей системы, основанной на нечетких моделях временных рядов для формирования баланса при технологической подготовке производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Моделирование процесса технологической подготовки производства на основе онтологического инжиниринга / Н.Г. Ярушкина, В.Н. Негода, Ю.П. Егоров, В.С. Мошкин, В.В. Шишкин, А.А. Романов, Е.Н. Эгов // Автоматизация процессов управления №4, 2017, С 94-100.
1. Интеграция проектных диаграмм и онтологий в задаче балансировки мощностей авиастроительного предприятия / Н.Г. Ярушкина, Т.В. Афанасьева, В.Н. Негода, М.К. Самохвалов, А.М. Наместников, Г.Ю. Гуськов, А.А. Романов // Автоматизация процессов управления №4, 2017, С 85-93.
3. J.M. Mendel, R.I.B. John: Type-2 Fuzzy Sets Made Simple, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 10/2, pp. 117-127, 2002
4. Perfilieva I.: Fuzzy transforms: Theory and applications. Fuzzy Sets and Systems 157(2006) 993-1023.
5. Perfilieva I., Yarushkina N., Afanasieva T., Romanov A. Time series analysis using soft computing methods // International Journal of General Systems, 2013, 42:6. - С.687-705.
6. Forecasting TAIEX using improved type 2 fuzzy time series / Narges Shafaei Bajestani, Assef Zare // Expert Systems with Applications, Volume 38, Issue 5, May 2011, Pages 5816-5821.

TIME SERIES MODELING FOR BALANCE PRODUCTION PROCESSES

© 2018 N.G. Yarshkina, A.A. Romanov, A.A. Filippov

Ulyanovsk State Technical University

In this paper, the basic principles of building information support for an automated system for balancing the production capacities of large industrial enterprises are formulated. In addition, the model of forecasting time series in the task of power balancing is given.

Keywords: capacity balancing, time series, forecasting.

Nadezhda Yarushkina, Doctor of Technics, Professor at the Information Systems Department. E-mail: jng@ulstu.ru

Anton Romanov, Candidate of Technics, Associate Professor at the Information Systems Department.

E-mail: romanov73@gmail.com

Aleksey Filippov, Candidate of Technics, Associate Professor at the Information Systems Department.

E-mail: al.al.filippov@gmail.com