

П.А. Воронин, А.М. Белевцев, С.С. Александрова

**РАЗРАБОТКА ОБЩЕГО АЛГОРИТМА И СТРУКТУРЫ
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ
ПОДДЕРЖКИ ПРЕДПРИЯТИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОГО ПРОФИЛЯ**

Условия постоянно растущей конкуренции требуют экономии не только материальных или финансовых ресурсов, но также интеллектуальных, информационных и временных. Особую роль в решении этой задачи играют информационные технологии, применяемые на всех стадиях жизненного цикла изделий, от стратегического анализа и производства до модернизации и утилизации. Развитие современных информационных технологий, характеризующееся стремлением к объединению информационных ресурсов, кооперации при создании информационных систем, к совместному использованию информации, к автоматизации и регламентации процессов предприятия, сыграло важную роль в решении группы задач по экономии ресурсов. Производство сложных изделий сегодня немыслимо без обеспечения их информационной поддержки на всех стадиях жизненного цикла. Информационная поддержка – это целый комплекс вопросов, включающий автоматизацию процессов проектирования, обеспечение технологических процессов производства, автоматизацию управленческой деятельности предприятий, создание электронной конструкторской и эксплуатационной документации, внедрение автоматизированных систем заказа запасных частей и т.д. В данной статье рассматривается разработка общего алгоритма и структуры автоматизированной системы информационного обеспечения предприятия радиолокационного профиля, что является важным шагом на пути повышения эффективности и результативности деятельности этих предприятий. Разработка и внедрение такой системы требует тщательного планирования, проектирования и тестирования, а также постоянного обслуживания и поддержки. Однако потенциальные преимущества такой системы значительны и могут помочь предприятиям, работающим с радиолокационными профилями, оставаться конкурентоспособными и успешными во все более сложной и сложной деловой среде. В документе обсуждается внедрение системы, включая различные этапы проектирования и разработки, процедуры тестирования и проверки.

Процессное управление; автоматизированное рабочее место; бизнес-процесс; информационная система.

P.A. Voronin, A.M. Belevtsev, S.S. Aleksandrova

**DEVELOPMENT OF A GENERAL ALGORITHM AND STRUCTURE
OF AUTOMATED SYSTEM OF INFORMATION SUPPORT FOR A RADAR
PROFILE ENTERPRISE**

The conditions of ever-growing competition require saving not only material or financial resources, but also intellectual, informational and temporary ones. Information technologies used at all stages of the product life cycle, from strategic analysis and production to modernization and disposal, play a special role in solving this problem. The development of modern information technologies, characterized by the desire to combine information resources, cooperation in the creation of information systems, information sharing, automation and regulation of enterprise processes, has played an important role in solving a group of tasks to save resources. The production of complex products today is unthinkable without providing them with information support at all stages of the life cycle. Information support is a whole range of issues, including automation of design processes, provision of technological processes of production, automation of management activities of enterprises, creation of electronic design and operational documentation, implementation of automated systems for ordering spare parts, etc. This article discusses the development of a general algorithm and structure of an automated information support system for a radar profile enterprise, which is an important step towards improving the efficiency and effectiveness of these enterprises. The development and implementation of such a system requires careful planning, design and testing, as well as continuous maintenance and support. However, the potential bene-

fits of such a system are significant and can help enterprises working with radar profiles to remain competitive and successful in an increasingly complex and complex business environment. The document discusses the implementation of the system, including the various stages of design and development, testing and verification procedures.

Process management; automated workplace; business process; information system.

Введение. На сегодняшний день одной из самых перспективных концепций управления компанией и возможным средством улучшения деятельности организации является процессный подход к управлению, который тесно связан с внедрением информационной поддержки изделия на всех стадиях жизненного цикла [1]. Важной составляющей процесса, которая не отражена в этом определении, является систематичность действий. Действия процесса должны быть повторяющимися, а не случайными [2].

Принципиальным отличием процессного подхода от других (например, функционального) является концентрированность на результате и оптимальном способе его достижения.[3] Выделение части деятельности как отдельного объекта – бизнес процесса – дает возможность управлять этим объектом: проектировать, регламентировать, оптимизировать, планировать и контролировать показатели результативности и эффективности процесса.

Показатели процесса необходимы для получения информации о его работе и принятии соответствующих управленческих решений. Показатели процесса это набор количественных или качественных параметров, характеризующих сам процесс и его результат (выход) [4].

Основная часть. В процессе выполнения работы был разработан и опробован алгоритм построения системы распределенной обработки данных (рис. 1).

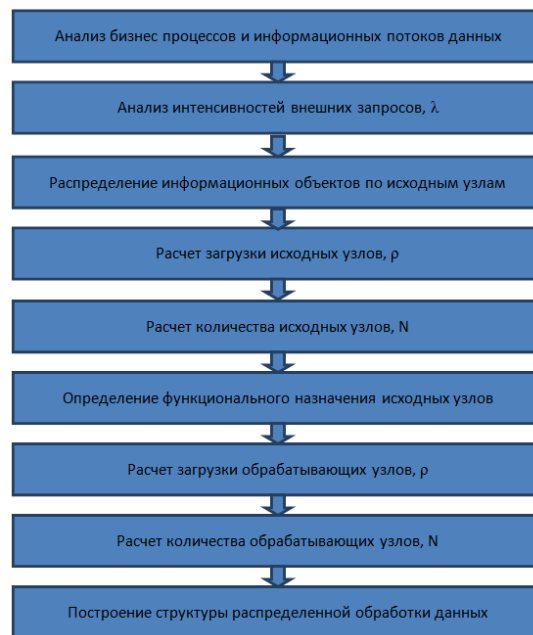


Рис. 1. Алгоритм построения системы распределенной обработки данных

В ходе исследования были выявлены типовые запросы, приходящие в отдел главного конструктора от внешних источников и на основе проведенного анализа бизнес-процессов был определен перечень конкретных работ, проходящие в отдел

главного конструктора (ОГК). За результатом некоторых процессов приходит внешний запрос, такие информационные объекты называются головными [5]. Существуют процессы в ОГК, необходимые для поддержания головных процессов, эти процессы называются вспомогательными.

Таблица 1

Перечень работ

№ ИО	Наименование работ	Внешний запрос
A1	Внесение изменений в КД	Цех
A2	Анализ возможности замены материала	Цех
A3	Модернизация выпускаемых изделий	-
A4	Разработка ведомости ЗИП	-
A5	Доработка новых изделий	ОКБ
A6	Подготовка к серийному производству	Цеха
A7	Разработка конструкторской документации	-
A8	Разработка эксплуатационной документации	-
A9	Создание каталога поставки	-
A10	Поиск аналогов импортных элементов	-
A11	Разработка схемы транспортировки	-
A12	Согласование договора	СКД
A13	Корректировка договоров на закупку	СОП
A14	Разработка программы и методики испытаний	-

Для реализации автоматизированной системы информационной поддержки ОГК необходимо объединить взаимосвязанные работы по функциональному признаку и по интенсивности взаимодействий. Для распределения информационных объектов по информационным узлам воспользуемся эвристическим алгоритмом численного решения математической модели разбиения системы распределенной обработки данных (СРОД) на подсистемы или подсети [6]. Для этого необходимо определить интенсивности взаимодействия ИО между собой.

Таблица 2

Матрица интенсивностей взаимодействия ИО ОГК

	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14
A1	-	-	5	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	1
A2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A3	5	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	1
A4	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-	-	1	-	-
A5	-	-	5	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
A6	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
A7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	7
A8	-	-	-	1	-	-	-	-	2	-	7	7	-	-
A9	-	-	-	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
A10	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-
A11	-	-	-	-	-	-	-	7	-	-	-	7	-	-
A12	-	-	-	1	-	-	7	7	-	-	7	-	-	-
A13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-
A14	1	-	1	-	-	-	7	-	-	-	-	-	-	-

В результате проведенного исследования ОГК были определены интенсивности обращений внешних подразделений и внутренних запросов за период 8 часов (один рабочий день). Для определения наиболее сильно взаимодействующих между собой объектов необходимо определить загрузку каждого информационного объекта [7]. Загрузка определяется по формуле $\rho_i = \lambda_i \cdot t_i$, где λ – интенсивность запросов к A_i (ИО) и определяется как отношение количества запросов за время за которое они поступили, а t – время обработки запроса было получено в результате проведенного анализа.

Результаты расчета загрузки представлены в табл. 2.

Таблица 2

Расчет загрузки информационных объектов.

№ ИО	Наименование ИО	Кол-во запросов за 8ч, N	Интенсивность запросов, λ , шт/сек	Время обработки запроса, t , ч	Загрузка, ρ
A1	Внесение изменений в КД	35	0,0012	1	4,32
A2	Анализ возможности замены материала	70	0,0024	0.5	4,32
A3	Модернизация выпускаемых изделий	5	0,00017	8	4,8
A4	Разработка ведомости ЗИП	1	0,000035	8	1,008
A5	Доработка новых изделий	10	0,00035	4	5,04
A6	Подготовка к серийному производству	1	0,000035	24	3,02
A7	Разработка конструкторской документации	12	0,00041	6	8,86
A8	Разработка эксплуатационной документации	7	0,00024	8	6,91
A9	Создание каталога поставки	2	0,00007	12	3,02
A10	Поиск аналогов импортных элементов	5	0,00017	4	2,45
A11	Разработка схемы транспортировки	7	0,00024	8	6,91
A12	Согласование договора	7	0,00024	2	1,73
A13	Корректировка договоров на закупку	10	0,00035	4	5,04
A14	Разработка программы и методики испытаний	9	0,00031	4	4,46

В общем случае СРОД можно выделить на две категории узлов – обрабатывающие и исходные узлы.

В обрабатывающих узлах (ОУ) сосредоточены основные ресурсы системы, обеспечивающие ее функционирование.

Исходные узлы (ИУ), обладая менее значительными ресурсами, чем ОУ, обеспечивают выполнение функций входа в систему, и предварительную, (а иногда и окончательную) обработки вопросов к автоматизированной системе информационной поддержки [8].

В СРОД роль обрабатывающих узлов играют узлы, в которых размещены, например серверы системы, а роль ИУ – узлы, являющимися рабочими станциями ПК (АРМ) [5].

В серверах, как правило, хранятся наиболее емкие информационные массивы и выполняются процедуры, требующие значительных затрат вычислительных ресурсов [9].

В ИУ хранится наиболее часто используемая информация небольшого объема и решаются задачи, не требующие больших затрат вычислительных ресурсов [10].

Одной из основных задач при построении любой распределенной системы является задача определения рационального числа центров, или узлов системы, как обрабатывающих, так и исходных [11].

Эта задача решается последовательно для ИУ и ОУ.

При построении и организации функционирования СРОД большое значение приобретает рациональное распределение нагрузки между узлами системы [12]. При этом необходимо учитывать, в общем случае, технологические возможности как обрабатывающих, так и исходных узлов. Это связано с тем, что стремление переложить работу только на обрабатывающий узел (ОУ) зачастую приводит к возрастанию непроизводительных затрат и как следствие – к снижению производительности системы в целом.[13] Математическое моделирование процессов функционирования системы в такой ситуации позволяет получить рекомендации по рациональному распределению нагрузки в системе.

Для разработки системы распределенной обработки данных необходимо распределить определенные ранее информационные объекты (работы) по автоматизированным рабочим местам (исходным узлам) [14]. Информационные объекты с наибольшими интенсивностями взаимодействия будут рационально реализовать в рамках одного автоматизированного рабочего места.

Существо предлагаемого подхода заключается в последовательном подборе «близких», т.е. наиболее активно взаимодействующих узлов в одну подсеть (подсистему).

При этом смысловая сторона процедуры состоит в том, что объединение в один исходный узел (с учетом существующих ограничений) ИО (пользователей), характеризующихся значительным воздействием, позволяет снизить нагрузку на ресурсы системы.[15]

Предлагаемая эвристика положена в основу следующего алгоритма:

а) Осуществляется некоторая (произвольная) нумерация узлов, так что каждому I узлов приписывается некоторое натуральное число i' , $i' = \overline{1, I}$. (это есть множество M_i). Формируется матрица интенсивностей взаимодействия узлов $\lambda = \{\lambda_{ij}\}, I \times I$

б) Вводится переменная i определяющая номер очередного узла. Начальное значение $i=1$

в) Формируется текущее множество узлов M_i . Начальное значение M_i есть i .

г) Определяется значение переменной j , для которой λ_{ij} – максимально: $\max_j \lambda_{ij}$. Если $\max_j \lambda_{ij} = 0$ то осуществляется переход к п. (з).

В противном случае – к п. (д).

д) Проверяется наличие вхождения $j \in M_i$. Если вхождение имеется, то j временно исключается из рассмотрения и снова выполняется п. (г). В противном случае – переход к п. (е)

е) Осуществляется проверка ограничений на возможность включения j в M_i . При положительном результате – переход к п. (ж).

При отрицательном результате текущее j временно исключается из рассмотрения и происходит переход к п. (г).

ж) Узел j включается в множество M_i . Осуществляется присвоение $i:=j$ и происходит переход к п. (г).

з) Сформированное множество M_i запоминается как очередное подмножество узлов, формирующих отдельную подсеть.

Эти узлы исключаются из множества M_i . Проверяется условие M_i – пусто. При выполнении условия- переход к п.(и).

В противном случае – к п. (а).

и) Алгоритм завершает свою работу. Вариант разбиения M_i на подмножества формирует структуру системы [5].

Блок схема алгоритма представлена на рис. 2.

Для того, что бы результаты работы алгоритма можно было применить на практике, необходимо ввести ограничения, обусловленные существующими в ОГК устоявшимися связями и организационной структурой. А так же исходя из принципов построения систем информационной поддержки [16], на автоматизированном рабочем месте должны быть реализованы работы, выполняемые в рамках одного бизнес процесса, поэтому необходимо добавить проверку очередного информационного объекта на принадлежность к одному бизнес процессу с уже добавленными в исходный узел объектами [17]. Ограничения, применяемые при работе с алгоритмом [18], так же включают в себя ограничение по загрузке.

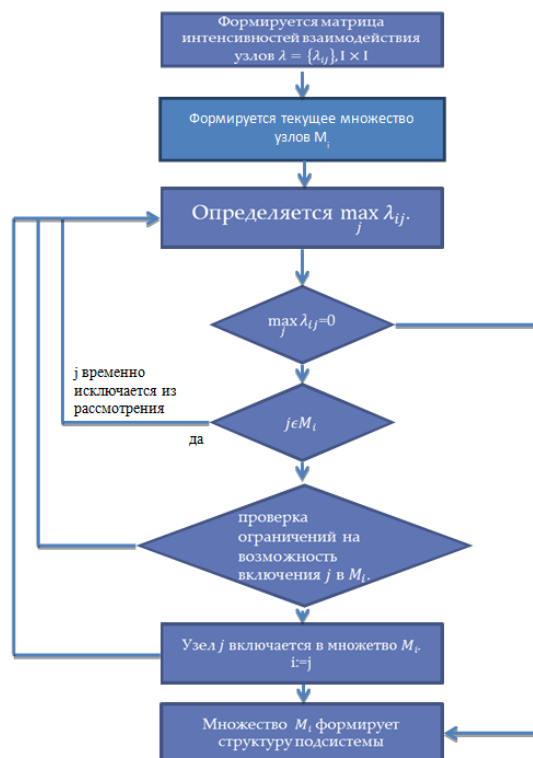


Рис. 2. Алгоритм численного решения математической модели разбиение СРОД на подсистемы

В результате работы алгоритма получаем такое распределение работ для реализации в рамках информационных узлов системы.

ИУ 1 – A1, A2, A3, A5, A6, A7;

ИУ 2 – A9;

ИУ 3 – A4, A8, A10, A11, A14;

ИУ 4 – A12, A13.

После распределения работ по исходным узлам произведем расчет общей загрузки исходных узлов [19] и определим необходимое количество автоматизированных рабочих мест для реализации работы системы без очередей в период пиковой нагрузки [20].

Общая загрузка информационных узлов:

ИУ 1 – 30,36;

ИУ 2 – 3,02;

ИУ 3 – 21,74;

ИУ 4 – 6,77.

Исходя из существующего ограничения по максимальной загрузке одного узла $\rho_0 = 0,6$, для функционирования системы без создания очередей в период пиковой нагрузки будет необходимо увеличить количество АРМ каждого из типов в соответствии с расчетами: $N = \rho / \rho_0$.

$N_1 = 30,36 / 0,6 = 51$;

$N_2 = 3,02 / 0,6 = 5$;

$N_3 = 21,74 / 0,6 = 36$;

$N_4 = 6,77 / 0,6 = 11$.

Опираясь на данные, полученные в результате анализа, можем уменьшить количество рекомендованных к установке АРМ, для обеспечения работы при 80% от пиковой нагрузки. Таким образом, получим количество АРМ, рекомендованных к внедрению в ОГК, и исходя из распределенных по АРМ работ определим типы АРМ, предлагаемые к установке.

АРМ «Сопровождение в производстве» (ИУ 1) – 41;

АРМ «Информационная система каталогизации предметов снабжения (ИСКПС)», «Электронный формуляр» (ИУ 2) – 4;

АРМ «Разработка ЭД» (ИУ 3) – 29;

АРМ «Система учета договоров» (ИУ 4) – 9.

Графически полученный результат можно представить в следующем виде:

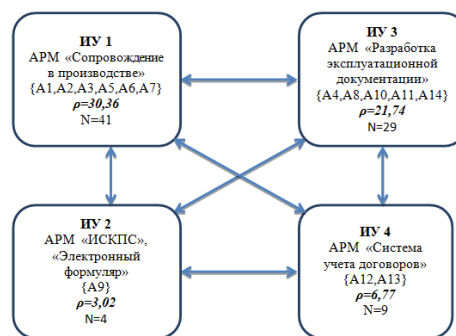


Рис. 3. Распределение информационных объектов по ИУ системы

Для оценки количества серверов определим интенсивность взаимодействия обрабатывающих узлов [18] с исходными узлами и между собой. Результаты представлены в табл. 4 и 5.

Таблица 4

Матрица интенсивностей взаимодействия исходных узлов (ИО) и обрабатывающих узлов (ОУ)

№ АРМ	№ ОУ					
	1	2	3	4	5	6
1	135	125	-	-	-	37
2	-	50	50	10	-	5
3	14	23	10	10	14	-
4	-	-	5	-	17	-

Таблица 5

Матрица интенсивностей взаимодействия обрабатывающих узлов (ОУ)

№ ОУ	1	2	3	4	5	6
1	-	-	-	-	-	35
2	-	-	-	-	-	35
3	-	-	-	5	-	5
4	-	-	5	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
6	35	35	5	-	-	-

Исходя из полученных данных, произведем расчет загрузки серверов. Загрузка обрабатывающего узла определяется из интенсивности внешних запросов, интенсивности внутренних дозапросов и интенсивности корректировок данных. При этом необходимо учитывать объем передаваемых данных на сервер и из него [21].

$$p = \sum_i \lambda \sum_k a_{ik} (1 - x_{kj}) \tau_k + \sum_i \sum_j \lambda_{ij} \tau_i. \quad (1)$$

Результаты произведенного расчета представлены в табл. 6.

Таблица 6

Расчет загрузки обрабатывающих узлов.

Номер узла	Количество запросов	Интенсивность запросов, λ	Загрузка, p
1	184	0,0064	0,032
2	233	0,008	0,4
3	75	0,0026	0,032
4	25	0,0009	0,011
5	31	0,0011	0,006
6	117	0,0039	0,098

Выводы. Представленный алгоритм позволяет распределить информационные запросы по автоматизированным рабочим местам. Данное распределение необходимо для предприятий при переходе на процессное управление в рамках цифровизации производства. Алгоритм учитывает бизнес-процессы, взаимосвязи ИО, интенсивность запросов и взаимодействие ИО друг с другом. В результате можно получить информацию по количеству и распределению обрабатывающих узлов, загрузке обрабатывающих узлов и загрузке серверов для построения системы распределенной обработки данных. Это упростит задачу определения необходимого количества ИО и серверов при внедрении в работу предприятия автоматизированных рабочих мест.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Долгих Э.А., Сарафанов А.В., Трегубов С.И. Основы применения CALS-технологий в электронном приборостроении: электрон. учеб. пособие. – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – 134 с.
2. Абдикеев Н.М., Данько Т.П., Ильдеменов С.В., Киселев А.Д. Реинжиниринг бизнес-процессов: учебник. – 2-е изд., испр. – М.: Эксмо, 2007. – 592 с.
3. Блинов А.О., Рудакова О.С., Захаров В.Я., Захаров И.В. Реинжиниринг бизнес-процессов. – М.: Юнити-Дана, 2010. – 344 с.
4. Елиферов, В.Г., Ретин В.В. Бизнес-процессы: Регламентация и управление. – М.: ИНФРА-М, 2004. – 319 с.
5. Балыбердин В.А., Белевцев А.М., Степанов О.А. Оптимизация информационных процессов в автоматизированных системах с распределенной обработкой данных. – М.: Технология, 2002. – 279 с.
6. Шалумов А.С., Никишкин С.И., Носков В.Н. Введение в CALS-технологии: учеб. пособие. – Ковров: КГТА, 2002. – 137 с.
7. Ковшов А.Н., Назаров Ю.Ф. Информационная поддержка жизненного цикла изделий машиностроения. Принципы, системы и технологии CALS/ИПИ: учеб. пособие. – М.: Академия, 2007. – 304 с. – ISBN 978-5-7695-3003-6.
8. Чернявский Д.И., Рудаков Д.В. Моделирование и реинжиниринг бизнес-процессов: учеб. пособие. – Омск: ОмГТУ, 2010. – 84 с.
9. Кондратьев В.В., Кузнецов М.Н. Показываем бизнес-процессы от модели процессов компании до регламентов процедур. – М.: Эксмо, 2008. – 256 с.
10. Грозов А.И., Чеботарев В.Г., Горчаков Я.В., Бойко О.И. Учебно-методический комплекс «Анализ и моделирование бизнес-процессов»: учеб. пособие. – М., 2007. – 157 с.
11. Ретин В.В. Бизнес-процессы: моделирование, внедрение, управление. – М.: Инфра-М, 2004.
12. Ретин, В.В. Бизнес-процессы компании: построение, анализ, регламентация. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2007.
13. Ретин В.В., Елиферов В.Г. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2004.
14. Тельнов Ю.Ф. Реинжиниринг бизнес-процессов: учеб. пособие. Московский международный институт эконометрики, информатики, финансов и права. – М.: МЭСИ, 2004. – 116 с.
15. Черемных О.С., Черемных С.В. Стратегический корпоративный реинжиниринг: процессно-стоимостной подход к управлению бизнесом. – М.: Финансы и статистика, 2005. – 736 с.
16. Щенников С.Ю. Реинжиниринг бизнес-процессов. Экспертное моделирование, управление, планирование и оценка. – М.: Ось-89, 2004. – 288 с.
17. Румянцев М.И. Средства имитационного моделирования бизнес-процессов // Корпоративные системы. – 2007. – № 2.
18. Норенков И.П., Кузьмик П.К. Информационная поддержка наукоемких изделий (CALS-технологии). – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 284 с.
19. Колчин А.Ф., Овсянников М.В., Стрекалов А.Ф., Сумароков С.В. Управление жизненным циклом продукции. – М.: Анахарсис, 2002. – 304 с.
20. Колчин А.Ф., Овсянников М.В. Применение информационных технологий ИПИ/CALS технологий для автоматизации инженерной деятельности // Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2005. – № 5 (11). – С. 5-56.
21. Ватулин Я.С., Подклетнов С.Г., Свитин В.В. и др. Автоматизированное проектирование в ИПИ-технологиях: учеб. пособие. – СПб.: ПГУПС, 2010. – 126 с.

REFERENCES

1. Dolgikh E.A., Sarafanov A.V., Tregubov S.I. Osnovy primeneniya CALS-tekhnologiy v elektronnom priborostroenii: elektron. ucheb. Posobie [Fundamentals of the use of CALS technologies in electronic instrumentation: electron. studies. Stipend]. Krasnoyarsk: IPK SFU, 2008, 134 p.
2. Abdikeev N.M., Dan'ko T.P., Il'demenov S.V., Kiselev A.D. Reinzhiniring biznes-protssessov: uchebnik [Reengineering of business processes: textbook]. 2nd ed. Moscow: Eksmo, 2007, 592 p.

3. *Blinov A.O., Rudakova O.S., Zakharov V.Ya., Zakharov I.V.* Reinzhiniring biznes-protsessov [Reengineering of business processes]. Moscow: Yuniti-Dana, 2010, 344 p.
4. *Eliforov, V.G., Repin V.V.* Biznes-protsessy: Reglamentatsiya i upravlenie [Business processes: Regulation and management.]. Moscow: INFRA-M, 2004, 319 p.
5. *Balyberdin V.A., Belevtsev A.M., Stepanov O.A.* Optimizatsiya informatsionnykh protsessov v avtomatizirovannykh sistemakh s raspredelennoy obrabotkoy dannykh [Optimization of information processes in automated systems with distributed data processing]. Moscow: Tekhnologiya, 2002, 279 p.
6. *Shalunov A.S., Nikishkin S.I., Noskov V.N.* Vvedenie v CALS-tehnologii: ucheb. posobie [Introduction to CALS Technologies: a textbook]. Kovrov: KGTA, 2002, 137 p.
7. *Kovshov A.N., Nazarov Yu.F.* Informatsionnaya podderzhka zhiznennogo tsikla izdeliy mashinostroeniya. Printsipy, sistemy i tehnologii CALS/IPI: ucheb. posobie [Information support of the life cycle of mechanical engineering products. Principles, systems and technologies of CALS/IPI: textbook]. Moscow: Akademiya, 2007, 304 p. ISBN 978-5-7695-3003-6.
8. *Chernyavskiy D.I., Rudakov D.V.* Modelirovanie i reinzhiniring biznes-protsessov: ucheb. posobie [Modeling and reengineering of business processes: a textbook]. Omsk: OmGTU, 2010, 84 p.
9. *Kondrat'ev V.V., Kuznetsov M.N.* Pokazyvaem biznes-protsessy ot modeli protsessov kompanii do reglamentov protsedur [We show business processes from the company's process model to the rules of procedures]. Moscow: Eksmo, 2008, 256 p.
10. *Gromov A.I., Chebotarev V.G., Gorchakov Ya.V., Boyko O.I.* Uchebno-metodicheskiy kompleks «Analiz i modelirovanie biznes-protsessov»: ucheb. posobie [Educational and methodical complex "Analysis and modeling of business processes": textbook]. Moscow, 2007, 157 p.
11. *Repin V.V.* Biznes-protsessy: modelirovanie, vnedrenie, upravlenie [Business processes: modeling, implementation, management]. Moscow: Infra-M, 2004.
12. *Repin, V.V.* Biznes-protsessy kompanii: postroyenie, analiz, reglamentatsiya [Business processes of the company: construction, analysis, regulation]. Moscow: RIA «Standarty i kachestvo», 2007.
13. *Repin V.V., Eliforov V.G.* Protessnyy podkhod k upravleniyu. Modelirovanie biznes-protsessov [Process approach to management. Modeling of business processes]. Moscow: RIA «Standarty i kachestvo», 2004.
14. *Tel'nov Yu.F.* Reinzhiniring biznes-protsessov: ucheb. posobie [Business process Reengineering: a textbook]. Moscow International Institute of Econometrics, Informatics, Finance and Law. Moscow: MESI, 2004, 116 p.
15. *Cheremnykh O.S., Cheremnykh S.V.* Strategicheskiy korporativnyy reinzhiniring: protsessno-stoimostnyy podkhod k upravleniyu biznesom [Strategic corporate reengineering: a process-cost approach to business management]. Moscow: Finansy i statistika, 2005, 736 p.
16. *Shchennikov S.Yu.* Reinzhiniring biznes-protsessov. Ekspertnoe modelirovanie, upravlenie, planirovanie i otsenka [Business process reengineering. Expert modeling, management, planning and evaluation]. Moscow: Os'-89, 2004, 288 p.
17. *Rumyantsev M.I.* Sredstva imitatsionnogo modelirovaniya biznes- protsessov [Business process simulation tools], *Korporativnye sistemy* [Corporate systems], 2007, No. 2.
18. *Norenkov I.P., Kuz'mik P.K.* Informatsionnaya podderzhka naukoemkikh izdeliy (CALS-tehnologii) [Information support of high-tech products (CALS—technologies)]. Moscow: Izdvo MGTU im. N.E. Bauman, 2002, 284 p.
19. *Kolchin A.F., Ovsyannikov M.V., Strekalov A.F., Sumarokov S.V.* Upravlenie zhiznennym tsiklom produktsii [Product lifecycle management]. Moscow: Anakharsis, 2002, 304 p.
20. *Kolchin A.F., Ovsyannikov M.V.* Primenenie informatsionnykh tekhnologiy IPI/CALS tekhnologiy dlya avtomatizatsii inzhenernoy deyatel'nosti [Application of information technologies IPI/CALS technologies for automation of engineering activities], *Vestnik komp'yuternykh i informatsionnykh tekhnologiy* [Bulletin of Computer and Information Technologies], 2005, No. 5 (11), pp. 5-56.
21. *Vatulin Ya.S., Podkletnov S.G., Svitin V.V. i dr.* Avtomatizirovannoe proektirovanie v IPI-tehnologiyakh: ucheb. posobie [Computer-aided design in IPI technologies: study guide]. St. Petersburg: PGUPS, 2010, 126 p.

Статью рекомендовал к опубликованию к.т.н. И.М. Бородинский.

Воронин Павел Александрович – Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет); e-mail: heyholyrampage@yandex.ru; г. Москва, Россия; тел.: +79857048284; ассистент.

Белевцев Андрей Михайлович – e-mail: ambelevtsev@yandex.ru; тел.: +79037691788; д.т.н.; профессор.

Александрова Светлана Сергеевна – e-mail: sweta.sergeeva@gmail.com; тел.: +79859907055; к.т.н.

Voronin Pavel Aleksandrovich – Moscow Aviation Institute (National Research University); e-mail: heyholyrampage@yandex.ru assistant; Moscow, Russia; phone: +79857048284; assistant.

Belevtsev Andrey Michailovitch – e-mail: ambelevtsev@yandex.ru; phone: +79037691788; dr. of eng. of sc.; professor.

Aleksandrova Svetlana Sergeevna – e-mail: sweta.sergeeva@gmail.com; phone: +79859907055; cand. of eng. sc.

УДК 681.3.068:796.01

DOI 10.18522/2311-3103-2023-2-250-263

В.В. Альчаков, В.А. Крамарь

ОЦЕНКА МЕТОДОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СЕЗОННЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Временные ряды с сезонной изменчивостью получили широкое распространение для описания процессов в различных областях, таких как торговля, анализ финансовых рынков, прогнозирование пассажирских авиаперевозок, описание климатических изменений. В последнее время широкое применение данный подход стал применяться и для описания технологических процессов. В связи с чем стало возможным применять прогнозирующие модели в системах управления сложными техническими объектами. Методы машинного обучения могут быть эффективно использованы для построения прогнозирующих моделей рядов такого типа. При этом для построения прогноза в качестве входных данных используются лишь исторические данные, накопленные за несколько периодов сезонных наблюдений, знание других параметров, как правило, не требуется. В статье рассмотрено построение прогнозирующей модели временного ряда с сезонной изменчивостью, описывающего технологический процесс, в качестве которого выбран входной поток завода по очистке сточных вод. Описана общая методология построения модели, требования к входным массивам данных, алгоритмы предварительной обработки для формирования выборок, используемых для обучения и тестирования моделей. Для построения прогнозирующей модели в работе использовались классические методы (SARIMA, Holt-Winters Exponential Smoothing, ETS), а также новые алгоритмы (Facebook Prophet, XGBoost, Long Short Term Memory). Реализация алгоритмов выполнена на языке Python, в работе даны рекомендации по использованию существующих библиотек и функций этого языка. Приводится сравнительный анализ точности полученных моделей на основе расчета набора статистических метрик. Также проведен анализ быстродействия методов, поскольку время, затраченное на создание модели и получение прогноза, играет немаловажную роль при запуске модели в реальных условиях на производстве. По совокупности оценок выбран лучший метод для решения поставленной задачи для применения в системах управления реальным временем. В заключении даны рекомендации по повышению точности прогноза и обозначены направления будущих исследований в данной области.

Временные ряды с сезонной изменчивостью; машинное обучение; прогнозирующие модели; SARIMA; экспоненциальное сглаживание Хольта-Винтерса; Error Trend Seasonal (ETS); Facebook Prophet; XGBoost; Long Short-Term Memory (LSTM).