

Автоматизация и Современные Технологии

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ МЕЖОТРАСЛЕВОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗДАЁТСЯ С 1947 ГОДА

Главный редактор
В.Л. Белоусов

РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ:
Бучаченко А.Л.
Гусев А.А.
Дегтярев Ю.И.
Елисеев В.А.
Иванов А.П.
Мальцева С.В.
Нефедов Е.И.
Шебалин И.Ю.
(заместитель главного редактора)

7
—
2012

УЧРЕДИТЕЛИ:
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
РЕСПУБЛИКАНСКИЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
НАУЧНО-КОНСУЛЬТАЦИОННЫЙ
ЦЕНТР ЭКСПЕРТИЗЫ

Журнал зарегистрирован 9 апреля
1999 г. за № 018684 в Комитете
Российской Федерации по печати

Журнал входит в перечень
утверждённых ВАК РФ изданий
для публикации трудов соискателей
учёных степеней

ООО «Издательство Машиностроение»

РЕДАКЦИЯ:

Шебалин И.Ю. — зам. главного редактора
Гончарова Л.К. — научный редактор
Осипова В.Г. — научный редактор
Богус С.В. — секретарь

Адрес редакции:
107076, Москва,
Стромынский пер., 4
Тел.: (499) 748 0290,
E-mail: ast@mashin.ru; http://www.mashin.ru

Адрес издательства:
107076, Москва,
Стромынский пер., 4
Тел.: (499) 268 3858,
факс: (499) 269 4897

СОДЕРЖАНИЕ

АВТОМАТИЗАЦИЯ

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

| | |
|--|---|
| Ходина А.И. Анализ потребности в запасных частях предприятий по ремонту и техническому осмотру | 3 |
| Тутаев Г.М. Двухзонное регулирование скорости в электроприводе на базе асинхронизированного вентильного двигателя | 8 |

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

| | |
|--|----|
| Змиеva К.А., Кузнецова Е.В., Козлов Д.В. Разработка инновационной энергосберегающей технологии повышения энергоэффективности машиностроительного оборудования | 13 |
| Ахмедова Т.А. LC-автогенераторные датчики для информационно-измерительных систем и управления робототехническими комплексами | 20 |
| Мартынов О.Ю. Методика расчёта эффективности внедрения информационных технологий | 24 |
| Алтайулы С. Система автоматического регулирования процесса удаления влаги из фосфолипидной эмульсии подсолнечных масел в ротационно-плёночном аппарате | 27 |
| Шемелин В.К., Филипенков А.В. Методы повышения достоверности текущих параметров диспетчерско-технологической информации газотранспортной системы | 31 |

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ НАУЧНОЙ И ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

| | |
|--|----|
| Иванов В.К. Интегрированная система моделирования и управления возможностями предприятия | 34 |
| Горностаев С.А. Интегрированное планирование ресурсов предприятия и управление жизненным циклом изделия (IRPLM): концепция, модель, перспективы. | 40 |

ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

| | |
|------------------------|----|
| «ПРОДЭКСПО-2012» | 48 |
|------------------------|----|

CONTENTS

AUTOMATION

OF SCIENTIFIC-RESEARCH AND PRODUCTION

| | |
|--|---|
| Khodina A.I. Spare parts demand analysis of the repair and inspection enterprises | 3 |
| Tutaev G.M. Two-zonal speed regulation in electric drive from an asynchronous thyratron motor | 8 |

MODERN TECHNOLOGIES

| | |
|---|----|
| Zmieve K.A., Kuznetsova E.V., Kozlov D.V. Development of the innovative energy-efficient technology for the increase of the machine-building equipment energy efficiency | 13 |
| Akhmedova T.A. LC-autogenerator sensors for information measuring system and robotics complexes | 20 |
| Martynov O.Yu. Efficiency calculating methodology of information technology introduction | 24 |
| Altayuly S. Automatic regulation system for moisture removing process from the sunflower oil phospholipids emulsion in a vacuum rotationally-film apparatus | 27 |
| Shemelin V.K., Filipenkov A.V. Growth trustworthiness methods of the current parameters for the dispatching-technological information of the gas-transport system | 31 |

ECONOMICS AND ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND ECONOMIC AKTIVIES

| | |
|--|----|
| Ivanov V.K. Modeling and control integrated system of the enterprise facilities | 34 |
| Gornostaev S.A. Enterprise resource integrated planning and product life cycle management (IRPLM): conception, model and prospect | 40 |

EXHIBITION AND PRESENTATIONS

| | |
|----------------------|----|
| «PRODEXPO-2012»..... | 48 |
|----------------------|----|

Журнал распространяется по подписке, которую можно оформить в любом почтовом отделении (индекс по каталогу «Роспечать» — 70537, по каталогу «Пресса России» — 27838, по «Каталогу российской прессы «Почта России» — 60267) или непосредственно в издательстве по факсу (499) 269 4897, по e-mail realiz@mashin.ru, на сайте www.mashin.ru (без почтовых наценок, с любого месяца, со своего рабочего места); телефон для справок (499) 269 6600, 269 5298

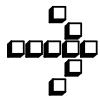
Художественный редактор *Галицина Т.Н.*
Компьютерный набор *Путилов В.Н.*
Компьютерная верстка *Тугаринов А.А., Веремеев С.В.*

Набрано в ФГБНУ «Научно-исследовательский институт — Республиканский исследовательский научно-консультационный центр экспертизы»
Москва, ул. Антонова-Овсеенко, 13. Тел.: (499) 795 1789

Сдано в набор 30.04.12. Подписано в печать 27.06.12.
Формат 60×88 1/8. Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 5,88. Уч. изд. л. 7,0. Цена свободная

Отпечатано в ООО «Белый ветер»
115407, Москва, Нагатинская наб., 54

Перепечатка материалов из журнала «Автоматизация и современные технологии» возможна при обязательном письменном согласии редакции журнала. При перепечатке материалов ссылка на журнал «Автоматизация и современные технологии» обязательна.
За содержание рекламных материалов ответственность несёт рекламодатель



УДК 519.872.7

А.И. Ходина (Московский автомобильно-дорожный государственный
технический университет (МАДИ))

aikhodina@gmail.com

АНАЛИЗ ПОТРЕБНОСТИ В ЗАПАСНЫХ ЧАСТЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО РЕМОНТУ И ТЕХНИЧЕСКОМУ ОСМОТРУ

Показана актуальность оптимизации систем пополнения запасными частями складов предприятий по ремонту и техническому осмотру тяжёлой техники. Рассмотрены факторы, влияющие на спрос запасных частей. Перечислены наиболее важные задачи управления запасами. Приведены существующие методы прогнозирования потребности в запасных частях. Предложены способы применения методов теории массового обслуживания для решения задач управления запасами.

Ключевые слова: запасные части, прогнозирование, теория массового обслуживания.

The systems optimization urgency of the warehouses spare parts replenishment for repair and heavy machinery technical inspection enterprises is shown. The factors influencing spare parts demand are considered. The most important tasks of the stock management are listed. Prediction existing methods of the spare parts needs are adduced. Methods application means of the mass service theory for the stock management tasks decision are proposed.

Key words: spare parts, prediction, mass service theory.

Введение. Обеспечение запасными частями потребителей является сложной задачей, от которой напрямую зависит качество предлагаемого обслуживания.

Уровень сервиса во многом определяет конкурентоспособность техники или предприятия в целом. Организация обслуживания является важнейшим инструментом, позволяющим занять лидирующие позиции в данном сегменте рынка.

Необходимость ремонта техники в большинстве случаев появляется неожиданно, и практически это всегда означает перерывы в работе. Из рис. 1, б видно, что половину жизненного цикла машина находится в ремонте, тогда как по плану должно быть лишь 8 % (рис. 1, а). Поэтому важно стремиться к сокращению времени простоя машин. Дополнительное время простоя может стоить клиенту значительных потерь. Клиент должен быть уверен, что получит запасные части вовремя. Однако своевременное снабжение запасными частями является обязательным для бесперебойной работы предприятия, осуществляющего технический осмотр и ремонт машин.

Таким образом, организация процесса поставки запасных частей является одним из факторов, определяющих эффективность услуг технического обслуживания.

Выявление обстоятельств, влияющих на потребность в запасных частях фирм, осуществляющих обслуживание, является важнейшей задачей при организации пополнения запасными частями.

Запасные части – это особенный товар, имеющий неравномерную структуру. При этом стоит отметить, что на одну и ту же деталь в равные периоды времени спрос не постоянен и зависит от различных факторов (сезонность, климат, экономическая ситуация и т. п.). При этом искусственно повысить спрос невозможно по той причине, что он появляется только при поломке или каком-либо повреждении техники. Поэтому возрастает значимость хорошо организованной системы снабжения запасными частями для конкурентной борьбы за данный сегмент рынка.

Важным моментом, который нельзя упускать, является определение оптимального уровня запасов, такого количества запасных частей, которое полностью может обеспечить запросы потребителей, но при этом исключит дефицит или затоваривание склада. Неликвиды также нежелательны, как и дефицит. Когда для выполнения заказа запасов на складе недостаточно, увеличивается время простоя, появляется упущенная прибыль. При избыточном количестве запасных частей образуются «мертвые запасы», которые

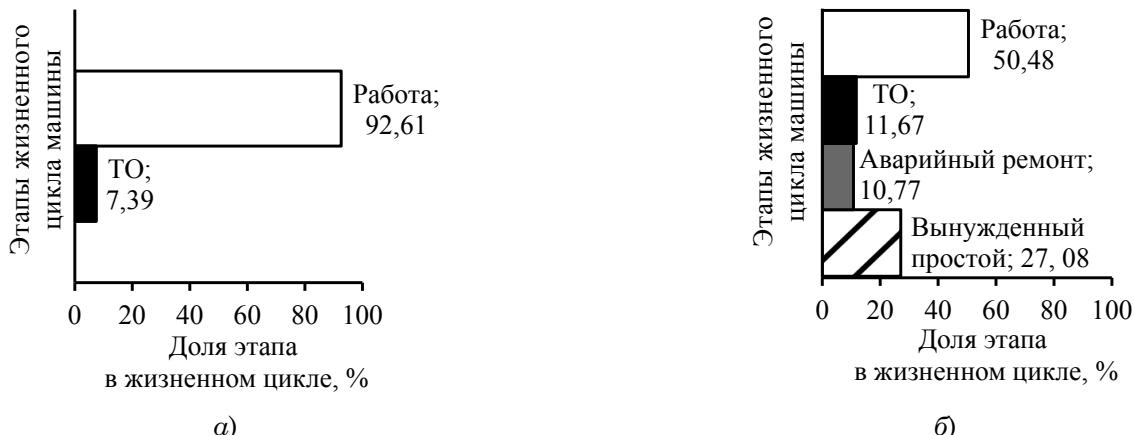


Рис. 1. Плановый (а) и фактический (б) жизненные циклы строительной техники

не приносят дохода, но требуют расходов на содержание. При расчёте количества хранимых запасных частей следует также обратить внимание на то, что увеличение размеров запасов значительно повышает стоимость их хранения. Для зарубежных компаний, согласно расчётам специалистов, хранение единицы продукции стоимостью в 1 доллар США на складе в течение года обходится в среднем в 25 центов. Отечественные источники пишут, что годовые расходы на хранение запасов составляют 20–30 % от их закупочной стоимости [1].

Условно складской запас делят на текущий и страховой. Текущий запас обеспечивает работу предприятия между очередными поставками запасных частей. Страховой запас хранится на случай непредвиденного спроса на запасные части [2]. В качестве страхового запаса устанавливается определённое гарантированное значение (наименьшее допустимое количество запасов). Это означает, что пополнение происходит не при абсолютном отсутствии запасов, а при установленном минимальном уровне (гарантированный запас), выбор которого является не-простой задачей. От активного запаса запасных частей зависит бесперебойная работа обслуживания.

Суммируя изложенное выше, стоит ещё раз отметить, что организация процесса снабжения запасными частями имеет большое значение для работы предприятия и является весьма сложной задачей. Но точный и своевременный прогноз, а также научный подход к определению потребности в деталях являются залогом принятия правильных решений о номенклатуре и количестве поставляемых запасных частей.

Общие подходы к прогнозированию. Анализ работ, посвящённых прогнозированию потребности в запасных частях, и обобщение результатов позволили сделать вывод, что можно выде-

лить несколько подходов к проблеме прогнозирования.

Первый подход включает методики, в которых техническое средство представляется как единое целое или составное устройство с взаимосвязанными узлами. Данный подход подразумевает сбор и обработку большого числа информации, проведение многочисленных исследований, что довольно затруднительно.

Ко второму подходу можно отнести средства, сводящие определение потребности к задаче оптимального управления запасами, целью которых является минимизация «мертвых запасов» из-за отказов, являющихся следствием неудовлетворённых заявок.

Узконаправленные подходы, позволяющие рассчитывать потребность применительно к конкретным техническим средствам или к конкретным условиям эксплуатации, являются третьим подходом определения потребности в запасных частях.

Также стоит выделить инженерные расчёты, которые учитывают случайный характер поломок, эксплуатационные условия, распределение нагрузки на узлы. Данные расчёты предусматривают применение нормированных коэффициентов в уравнении общей функции восстановления. Таким образом, принимаются во внимание реальные условия эксплуатации для большинства элементов, когда проводится замена детали на деталь с другими параметрами распределения.

В большинстве случаев для прогнозирования количества запасных частей используют теорию восстановления (один из разделов теории вероятности), основывающуюся на асимптотических формулах, использовании потока отказов или распределения наработок. В качестве отправной точки используются средние ресурсы деталей, элементов, узлов, т. е. определение потребности основывается на методах оценки надёжности техники. Основным недостатком такого подхода яв-

ляется то, что для получения асимптотических формул и зависимостей сложный процесс восстановления упрощается и приводится к удобному для использования виду.

Определение потребности в запасных частях.

Система обслуживания оправдана, если при её использовании потери минимальны, что обеспечивает непрерывную работу предприятия (время простоа сведено к минимуму), определение оптимального количества запасов, а при необходимости – выбор уровня гарантированного запаса. Привести систему к описанному состоянию предлагается инструментами теории массового обслуживания.

Рассмотрим работу мастерской по ремонту автотракторной техники как модель теории массового обслуживания (ТМО). Спрос на запасные части в данном случае будет возникать в случайном порядке при поломке или отказе технического средства. В ТМО отказы представляются, с одной стороны, как заявки. При отсутствии на данный момент запасных частей на станции ремонта появляется очередь. Если на складе находится небольшое количество запасов, то возникает проблема задержки в обслуживании, что приводит к финансовым потерям мастерской и клиента. С другой стороны, если на складе хранится большое количество запасных частей, то стоимость их хранения достаточно высока.

С помощью теории массового обслуживания можно определить оптимальное количество запасных частей, среднее время ожидания, время обслуживания и т. д. Тем самым улучшить качество предоставляемого сервиса и избежать лишних затрат.

Для оптимизации работы системы обслуживания необходимо выявить взаимосвязь качественных показателей работы системы с характеристиками потоков заявок и обслуживаний.

Самым важным показателем продуктивности системы обслуживания является время ожидания обслуживания потребителей. В качестве критерия эффективности системы следует использовать вероятность задержки в обслуживании (запрета на обслуживание). Чем меньше вероятность возник-

новения запрета на обслуживание, тем выше эффективность системы обслуживания. Поэтому целесообразно стремиться к минимуму вероятности запрета [3].

Рассмотрим задачу поиска оптимального запаса. В качестве модели возьмём одноканальную систему обслуживания с ёмкостью накопителя n . На рис. 2 представлен график фазовых состояний системы. Процесс пополнения накопителя начинается по достижении нулевого уровня запасов (предельный режим работы).

Для данной системы вероятность того, что будет израсходовано n запасных частей (из ёмкости накопителя) и начнётся процесс пополнения (вероятность запрета), имеет вид

$$P_3 = \frac{\mu}{n\mu_2 + \mu}.$$

Как отмечено выше, для повышения эффективности системы необходимо стремиться к снижению значения вероятности запрета. При заданных интенсивностях выдачи запасных частей и пополнения ёмкости повлиять на величину вероятности можно, выбрав оптимальный уровень запаса накопителя $n_{\text{опт}}$. Однако чем больше запас, тем больше места на складе он занимает и тем дороже обходится его содержание. Главная задача – определить такой оптимальный уровень запаса $n_{\text{опт}}$, который обеспечивает минимальные суммарные затраты:

$$C(n) = C_1(n) + C_2(P_3) \rightarrow \min,$$

где $C_1(n)$ – стоимость хранения запасов, зависящая от количества хранимых запасных частей; $C_2(P_3)$ – стоимость потерь от простоя потребителей в очереди (зависит от вероятности запрета).

Примем $C_1(n) = nC_1$ и

$$C_2(n) = \left(\frac{\mu}{n\mu_2 + \mu} \right) C_2.$$

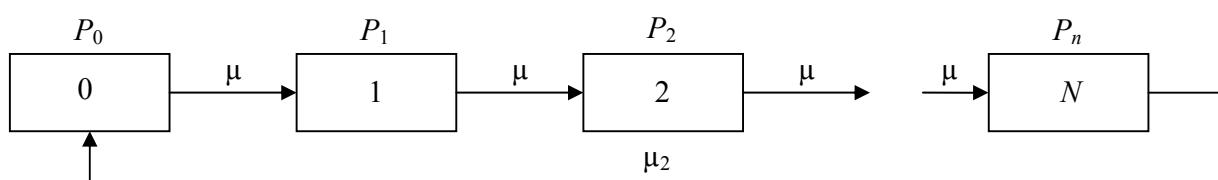


Рис. 2. Граф фазовых состояний одноканальной системы обслуживания (предельный режим работы):

μ – интенсивность выдачи продукции потребителям; μ_2 – интенсивность пополнения ёмкости накопителя; P_i – вероятность того, что система находится в данном фазовом состоянии; N – количество заявок на обслуживание

Оптимальная ёмкость $n_{\text{опт}}$ определяется с помощью уравнения оптимизации

$$\frac{dC(n)}{dn} = 0,$$

которое после преобразований имеет вид:

$$n^2 + 2an + a^2 - \left(\frac{C_2}{C_1} \right) a = 0, \quad (1)$$

где $a = \mu/\mu_2$.

Решив уравнение (1), получим оптимальную ёмкость наполнителя:

$$n_{\text{опт}} = -\frac{\mu}{\mu_2} + \sqrt{\left(\frac{C_2 \mu}{C_1 \mu_2} \right)}.$$

Проанализировав приведённый выше расчёт, получим, что минимизация суммарных расходов возможна при соотношении $C_2/C_1 > a$.

В данном примере рассматривалась одноканальная система обслуживания, в которой процесс пополнения накопителя начинался при достижении нулевого запаса. На практике такая реализация – редкость. Как способ дополнительной стабилизации работы системы вводится понятие гарантированного запаса. Пополняется ёмкость накопителя не после полного опустошения, а по достижении определённого заранее уровня (гарантированного запаса).

На рис. 3 представлен график фазовых состояний системы обслуживания с пополнением при заданном уровне гарантированного запаса. Здесь N – количество заявок на обслуживание; K – состояние системы, при котором начинается пополнение запасов; P_{ij} – вероятность того, что система находится в данном фазовом состоянии. Первый индекс i указывает на уровень расхода (количество

израсходованных запасных частей) и изменяется от 1 до n ; k – заданное значение уровня, при котором начинается пополнение запасов.

Проанализировав график состояний, можно сделать вывод, что процесс пополнения начинается, когда расход изделий достигает значения k , т. е. величина минимально допустимого запаса равна $(n-k)$.

Для данной системы вероятность задержки в обслуживании имеет вид

$$P_3(k) = a^{n-k} \sum_{i=1}^k a^i / \left[k + \sum_{i=1}^k (k-i+a)a^i + \left(\sum_{i=1}^k a^i \right) \left(\sum_{i=1}^{n-k} a^i \right) \right]. \quad (2)$$

В выражении (2) параметр a характеризует отношение средней интенсивности поступления потребителей μ в систему к интенсивности потока λ .

После анализа выражения видно, что вероятность задержки в обслуживании регулируется изменением ёмкости накопителя. Таким образом, правильно подобранный уровень гарантированного запаса создаёт тот же эффект, что и изменение ёмкости наполнителя. Разобрав данное взаимодействие более детально, получим график (рис. 4), отображающий зависимость вероятности $P_3(k, a)$ от уровня гарантированного запаса. Кривые построены для различных значений a (0,2; 0,4; 0,6; 0,8). Ёмкость накопителя равна 10 порциям.

Из рис. 4 видно, что при малогабаритных ёмкостях лучше использовать систему с $a = 0,2$. При этом вероятность задержки в обслуживании сведена к минимуму. А при больших ёмкостях $a = 0,8$.

Выводы. Используя теорию массового обслуживания, на основе анализа потоков заявок на сервис, поступающих в систему, можно подобрать оптимальную систему обслуживания. При

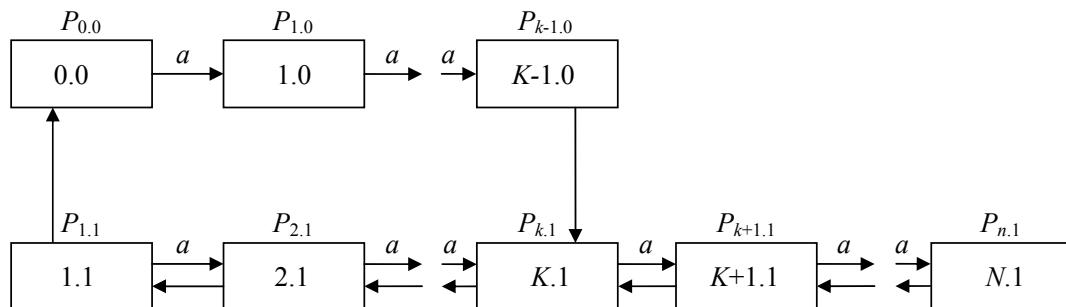


Рис. 3. Граф фазовых состояний системы пополнения при заданном уровне гарантированного запаса запчастей

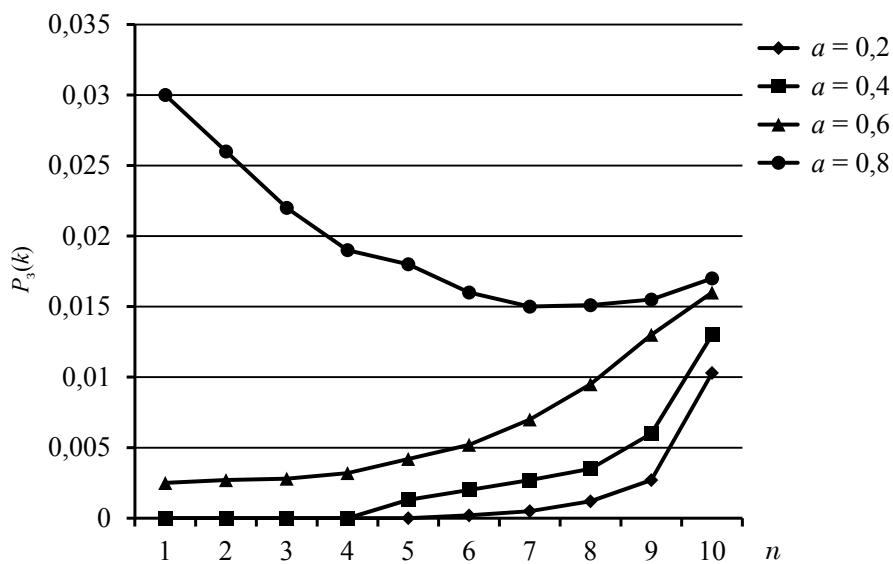


Рис. 4. Кривые зависимости вероятности задержки в очереди на обслуживание от параметра a

этом по отдельным параметрам оценивается эффективность работы системы и при необходимости корректируется её поведение расчётом, например, ёмкости наполнителя или уровня гарантированного запаса.

В качестве критерия оценки системы выбирают такой параметр, который отражает интересующую проблему. Так как в данном контексте важно снизить до минимума время ожидания (критерием служит вероятность запрета (простоя)). Чем оно меньше, тем, вероятно, выше эффективность работы системы.

Оптимизация работы системы обслуживания предполагает установку зависимостей между критериями продуктивности системы и параметрами

потоков заявок и обслуживания. Полученные выражения представляют собой базис, по которому выбирают оптимальную систему управления.

Библиографические ссылки

1. Гаджинский А.М. Управление запасами в логистике. Справочник экономиста. М.: Профессиональное издательство, 2008. № 2. С. 66–77.
2. Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин / Под ред. Е.С. Локшина. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 512 с.
3. Барский Р.Г., Воробьёв В.А., Звягин Г.М. Проектирование автоматизированных систем управления и контроля в строительном производстве. М.: Изд-во МАДИ (ГТУ), 1999. 217 с.

Уважаемые авторы и читатели журнала!

В соответствии с решениями президиума Высшей аттестационной комиссии Минобрнауки России журнал «Автоматизация и современные технологии» включён в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёных степеней кандидата и доктора наук.

УДК 621.313

Г.М. Тутаев, канд. техн. наук, доц.

(Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, г. Саранск)

tutaevgm@mail.ru

ДВУХЗОННОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ СКОРОСТИ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ НА БАЗЕ АСИНХРОНИЗИРОВАННОГО ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Рассмотрены возможности машины двойного питания при двухзонном регулировании скорости. Предложены два способа управления – при постоянстве ЭДС взаимоиндукции и постоянстве напряжения статора.

Ключевые слова: асинхронизированный вентильный двигатель, векторное управление, двухзонное регулирование скорости.

Double supply engine possibilities at two-zonal speed regulation are considered. Two control methods are proposed: at constant mutual induction EMF and at constant stator voltage.

Key words: asynchronous thyatron motor, vector control, two-zonal speed regulation.

В настоящее время самой многочисленной группой среди регулируемых приводов является электропривод (ЭП) с асинхронным двигателем (АД) с короткозамкнутым ротором. Применение векторных принципов управления в таких системах обеспечивает независимое управление модулем вектора потокосцепления ротора и электромагнитным моментом. Благодаря этому можно реализовать двухзонное регулирование угловой скорости вращения ротора по аналогии с электроприводом постоянного тока.

Двухзонное регулирование скорости применяется в механизмах, у которых на высоких скоростях снижается момент статической нагрузки. Так, в металлургическом производстве в приводах листовых прокатных станов требуемый диапазон регулирования достигает четырёх номинальных, а требуемый момент при этом снижается обратно пропорционально угловой скорости намотки. Регулирование скорости асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в таких диапазонах вызывает трудности, связанные с ограничением напряжения статора во второй зоне регулирования, что с увеличением скорости приводит к необходимости уменьшать электромагнитный момент обратно пропорционально квадрату угловой скорости.

Ещё более сложно обеспечить широкий диапазон уменьшения магнитного поля для электроприводов, в которых требуется высокая кратность максимального момента во второй зоне. При этом приходится завышать требуемую мощность двигателя и преобразователя либо использовать электропривод с двигателем постоянного тока со всеми его эксплуатационными недостатками.

Асинхронный двигатель с фазным ротором по сравнению с двигателем постоянного тока имеет

меньшую массу, более высокий КПД и относительно низкую стоимость.

В ЭП с асинхронизированным синхронным двигателем на базе машины двойного питания (МДП) с преобразователем частоты (ПЧ) в роторной цепи и подключением статорных обмоток к сети практически постоянное потокосцепление статора [1] и некоторая корректировка магнитного состояния достигаются воздействием на продольную составляющую вектора токов ротора [2].

Более сложным вариантом такой управляемой электрической машины является асинхронизированный вентильный двигатель (АВД) с двумя преобразователями частоты в цепях статора и ротора [3]. Это даёт возможность регулировать в широком диапазоне основной магнитный поток и частоту токов ротора с целью оптимизации энергетических характеристик привода и обеспечивает двухзонное регулирование скорости. Структурная схема АВД представлена на рис. 1.

Математическая модель установившихся режимов работы АВД без учёта потерь в стали в ориентированной по вектору главного магнитного потока ($\Psi_{\delta y} = 0$) системе координат x, y имеет вид [4, 5]

$$\begin{cases} u_{sx} = R_s i_{sx} - \omega_1 L_{ls} i_{sy} - \omega_1 \Psi_{\delta y}; \\ u_{sy} = R_s i_{sy} + \omega_1 L_{ls} i_{sx} + \omega_1 \Psi_{\delta x}; \\ u_{rx} = R_r i_{rx} - \omega_2 L_{lr} i_{ry} - \omega_2 \Psi_{\delta y}; \\ u_{ry} = R_r i_{ry} + \omega_2 L_{lr} i_{rx} + \omega_2 \Psi_{\delta x}. \end{cases} \quad (1)$$

В работе [4] показаны преимущества «ортогонального» управления АВД, когда система управления обеспечивает положение обобщённых векторов

торов $\dot{\Psi}_\delta \perp \dot{I}_s$, при этом $i_{sx} = 0$ и $\dot{\Psi}_\delta = \Psi_{\delta x}$. Система уравнений (1) в этом случае примет вид

$$\begin{cases} u_{sx} = -\omega_1 L_{ls} i_{sy}; \\ u_{sy} = R_s i_{sy} + \omega_1 \Psi_{\delta x}; \\ u_{rx} = R_r i_{rx} - \omega_2 L_{lr} i_{ry}; \\ u_{ry} = R_r i_{ry} + \omega_2 \frac{L_r}{L_m} \Psi_{\delta x}, \end{cases} \quad (2)$$

где u_{sx} , u_{sy} , u_{rx} , u_{ry} , i_{sy} , i_{rx} , i_{ry} – проекции векторов напряжений и токов статора и ротора на оси системы координат x , y ; R_s и R_r – активные сопротивления фаз статора и ротора; L_m – взаимная индуктивность; L_r – индуктивность ротора; L_{ls} , L_{lr} – индуктивности рассеяния обмоток статора и ротора; $\Psi_{\delta x}$ – проекция вектора основного магнитного потока, равная его модулю; ω_1 – угловая частота токов статора.

Знаки приведения параметров ротора к статору опущены.

Уравнение электромагнитного момента имеет вид

$$M_{\text{эм}} = \frac{3}{2} p_n \Psi_{\delta x} i_{sy} = -\frac{3}{2} p_n \Psi_{\delta x} i_{ry}. \quad (3)$$

Для обеспечения высоких энергетических показателей при управлении ЭП с АВД необходимо выполнение следующих условий [6]:

$$i_{sy} = -i_{ry}; \quad i_{rx} = \Psi_{\delta x} / L_m; \quad (4)$$

$$\omega_1 = -\omega_2 = \omega_e / 2, \quad (5)$$

где $\omega_e = \omega_r p_n$ – электрическая угловая скорость вращения ротора; p_n – число пар полюсов базовой машины.

Соотношения (4) позволяют обеспечить минимум потерь в меди при заданном потоке, а соотношение (5) – минимизировать потери в стали при заданной угловой скорости и работать на скоростях до двух синхронных без снижения магнитного потока.

При регулировании угловой скорости ротора в надсинхронной области по аналогии с двигателем постоянного тока возможны два варианта управления магнитным потоком – поддержание постоянства ЭДС взаимоиндукции или постоянства напряжения статора, равного максимальному значению.

В первом случае необходимо обеспечить условие

$$E_\delta = \omega_1 \Psi_{\delta x} = -\omega_2 \Psi_{\delta x} = \frac{\omega_e}{2} \Psi_{\delta x},$$

где E_δ – ЭДС взаимоиндукции.

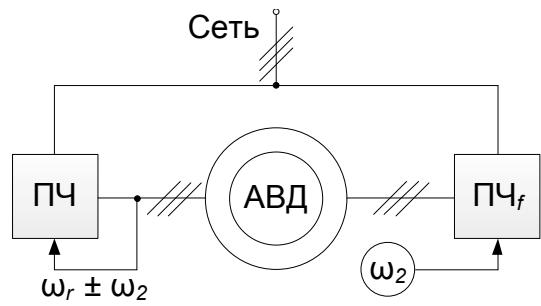


Рис. 1. Структурная схема асинхронизированного вентильного двигателя:

ПЧ, ПЧ_f – преобразователи частоты статора и ротора соответственно; ω_r – механическая угловая скорость ротора; ω_2 – угловая частота токов ротора

При этом значение основного магнитного потока, начиная с двойной синхронной скорости ротора $\omega_e = 2\omega_c$, снижается обратно пропорционально угловой скорости

$$\Psi_{\delta x} = \Psi_{\delta x \text{н}} \frac{2\omega_c}{\omega_e}.$$

Тогда с учётом соотношений (3)–(5) система уравнений (2) примет вид

$$\begin{cases} u_{sx} = -\frac{L_{ls} \omega_e^2 M_{\text{эм}}}{6 p_n E_\delta}, \\ u_{sy} = \frac{R_s \omega_e M_{\text{эм}}}{3 p_n E_\delta} + E_\delta; \\ u_{rx} = \frac{2 R_r E_\delta}{L_m \omega_e} - \frac{L_{lr} \omega_e^2 M_{\text{эм}}}{6 p_n E_\delta}, \\ u_{ry} = -\frac{R_r \omega_e M_{\text{эм}}}{3 p_n E_\delta} + \frac{L_r}{L_m} E_\delta. \end{cases} \quad (6)$$

Максимально возможный электромагнитный момент АВД лимитируется при таком управлении номинальным выходным напряжением ПЧ статора, поскольку номинальное напряжение роторной обмотки обычно ниже сетевого, и в ПЧ ротора имеется некоторый запас по напряжению.

Тогда максимальный электромагнитный момент определяется из первых двух уравнений системы (6) при напряжении на статоре не больше номинального $\sqrt{u_{sx}^2 + u_{sy}^2} = U_{\text{sh}}$ и будет являться решением квадратного уравнения

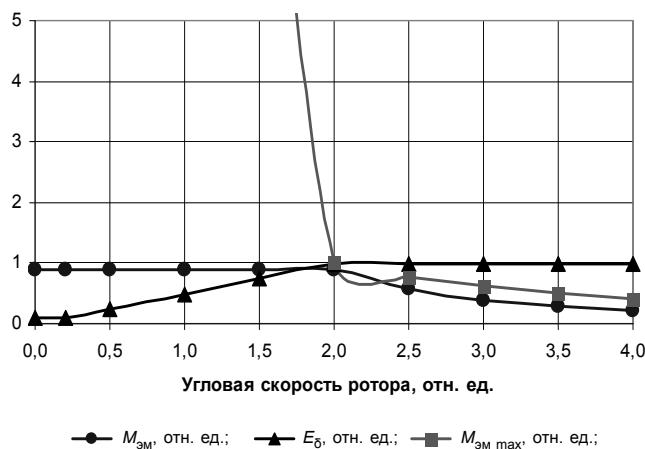


Рис. 2. Зависимости величин $M_{\text{эм}}$, $M_{\text{эм max}}$ и E_{δ} от угловой скорости ротора

$$M_{\text{эм max}} = \frac{6p_n E_{\delta}^2}{\omega_e \left(L_{ls}^2 \omega_e^2 + 4R_s^2 \right)} \left[-2R_s + \sqrt{\frac{U_{sh}^2}{E_{\delta}^2} \left(L_{ls}^2 \omega_e^2 + 4R_s^2 \right) - L_{ls}^2 \omega_e^2} \right].$$

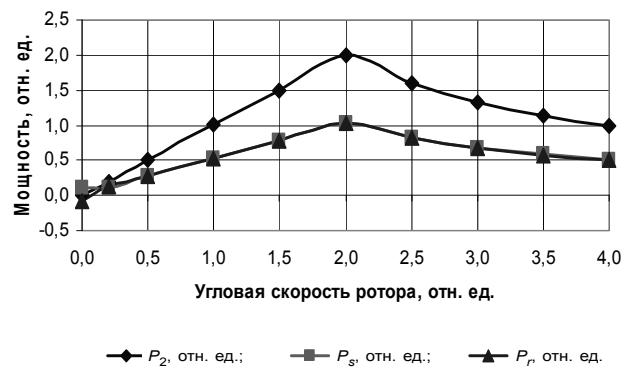
Статические характеристики получены для двигателя модели 4АК250СВ4У3 ($P_2 = 55$ кВт).

Зависимости длительно допустимого $M_{\text{эм}}$ и максимального $M_{\text{эм max}}$ электромагнитных моментов, а также ЭДС взаимоиндукции E_{δ} от угловой скорости ротора приведены на рис. 2.

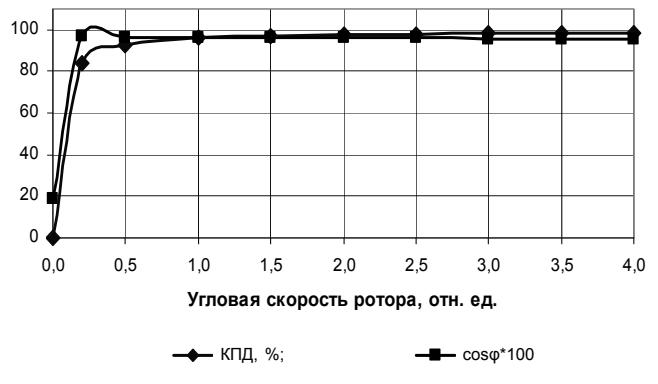
Энергетические характеристики АВД при изменении угловой скорости ротора и поддержании $E_{\delta} = \text{const}$ представлены на рис. 3.

Для получения энергетических характеристик была использована модель статических режимов АВД [6].

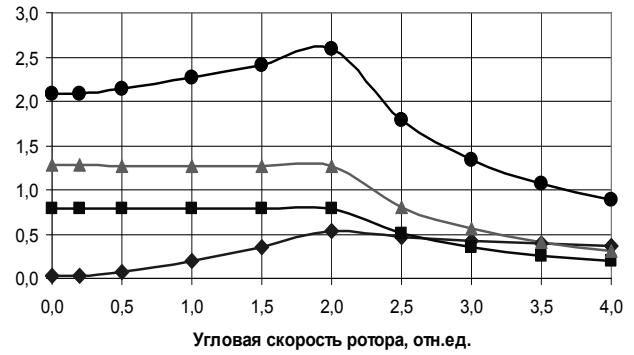
Поддержание постоянства ЭДС взаимоиндукции позволяет получить максимальный электромагнитный момент $M_{\text{эм max}}$ несколько больший длительно допустимого (см. рис. 2). Механическая мощность на валу достигает двух номинальных $2P_{2H}$ на двойной синхронной скорости, а затем начинает снижаться обратно пропорционально угловой скорости ротора в соответствии с уменьшением электромагнитного момента в функции основного магнитного потока. При этом по цепям статора и ротора потребляются примерно одинаковые активные мощности, равные половине механической мощности. Высокие КПД и cosφ обеспечиваются снижением активных потерь и потерь в стали за счёт уменьшения намагничивающей составляющей тока ротора (см. рис. 3).



a)



б)



в)

Рис. 3. Энергетические характеристики асинхронизированного вентильного двигателя при $E_{\delta} = \text{const}$:

a – потребляемые активные мощности и механическая мощность; *б* – КПД и cosφ; *в* – потери в статоре и роторе

Во втором случае при $U_{sh} = \text{const}$ в диапазоне скоростей ротора выше двух синхронных задание на магнитный поток определяется требуемым электромагнитным моментом и угловой скоростью ротора.

Тогда система уравнений (2) примет вид

$$\begin{cases} u_{sx} = -\frac{L_{ls}\omega_e M_{\text{эм}}}{3p_{\text{n}}\Psi_{\delta x}}; \\ u_{sy} = \frac{2R_s M_{\text{эм}}}{3p_{\text{n}}\Psi_{\delta x}} + \frac{\omega_e \Psi_{\delta x}}{2}; \\ u_{rx} = \frac{R_r \Psi_{\delta x}}{L_m} - \frac{L_{lr}\omega_e M_{\text{эм}}}{3p_{\text{n}}\Psi_{\delta x}}; \\ u_{ry} = -\frac{2R_r M_{\text{эм}}}{9p_{\text{n}}\Psi_{\delta x}} + \frac{\omega_e L_r}{2L_m} \Psi_{\delta x}. \end{cases}$$

Рассмотрим уравнения статора при условии $\sqrt{u_{sx}^2 + u_{sy}^2} = U_{\text{sh}}$. Введём обозначения $A = \frac{L_{ls}}{3p_{\text{n}}}$ и $B = \frac{R_s}{3p_{\text{n}}}$. После преобразований получим биквадратное уравнение

$$\frac{\omega_e^2}{4} \Psi_{\delta x}^4 + \left(2BM_{\text{эм}}\omega_e - U_{\text{sh}}^2 \right) \Psi_{\delta x}^2 + 4M_{\text{эм}}(A^2\omega_e^2 + 4B^2) = 0. \quad (7)$$

Из уравнения (7) определим требуемое значение магнитного потока:

$$\begin{aligned} \Psi_{\delta x} = & \{2(U_{\text{sh}}^2 - 2BM_{\text{эм}}\omega_e) + \\ & + 2[(U_{\text{sh}} - 2BM_{\text{эм}}\omega_e)^2 - \\ & - \omega_e^2 M_{\text{эм}}^2 (A^2\omega_e^2 + 4B^2)]^{1/2} / \omega_e^2\}^{1/2}. \end{aligned} \quad (8)$$

При этом длительно допустимое значение электромагнитного момента снижается обратно пропорционально угловой скорости, начиная с двойной синхронной

$$M_{\text{эм}} = M_{\text{эмн}} \frac{2\omega_c}{\omega_e}.$$

Максимально возможный электромагнитный момент определяется из выражения (7) подстановкой в него соотношения (8):

$$M_{\text{эм max}} = \frac{U_{\text{sh}}^2}{\omega_e(A\omega_e + 4B)} = \frac{3p_{\text{n}}U_{\text{sh}}^2}{\omega_e(L_{ls}\omega_e + 4R_s)}. \quad (11)$$

Зависимости магнитного потока от электромагнитного момента при различных угловых скоростях ротора показаны на рис. 4.

Графики зависимостей длительно допустимого $M_{\text{эм}}$ и максимального $M_{\text{эм max}}$ электромагнитных

моментов от угловой скорости ротора приведены на рис. 5.

Распределение мощностей в АВД при втором варианте управления показано на рис. 6.

Полученные характеристики указывают на то, что поддержание постоянства напряжения статора обеспечивает максимально возможный момент электропривода. Управление моментом при этом осуществляется регулированием моментаобразующих и намагничивающих составляющих токов. Это несколько снижает динамические показатели. Но для приводов metallurgических производств это не является критичным. В диапазоне скоростей от двух синхронных и выше обеспечивается двукратная механическая мощность на валу. По цепям статора и ротора, так же как и в первом варианте управления, потребляются примерно одинаковые активные мощности, равные половине механической мощности. При этом

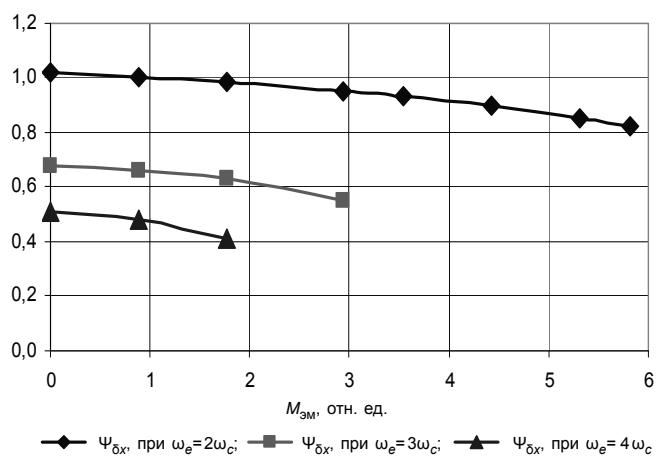


Рис. 4. Кривая функции $\Psi_{\delta x} = f(M_{\text{эм}})$ при различных скоростях ротора

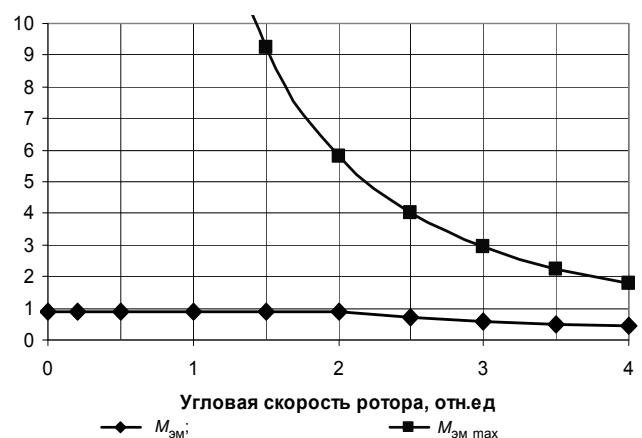


Рис. 5. Зависимости электромагнитных моментов $M_{\text{эм}}$, $M_{\text{эм max}}$ от угловой скорости ротора при $U_{\text{sh}} = \text{const}$

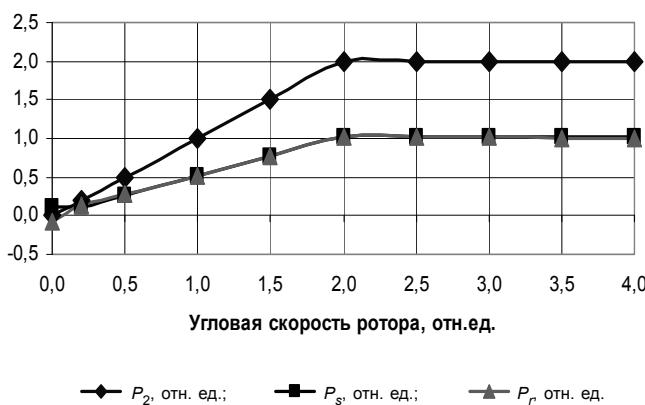


Рис. 6. Распределение мощностей в асинхронизированном вентильном двигателе при $U_{sh} = \text{const}$

также обеспечиваются высокие значения КПД и $\cos\varphi$, аналогично первому варианту управления (см. рис. 3, б, в).

Таким образом, рассмотрев два варианта регулирования угловой скорости ротора в ЭП на базе АВД и проанализировав полученные характеристики, можно сделать следующие выводы.

Применение АВД (с фазным ротором, включённого в режиме двойного питания с преобразователями частоты в статоре и роторе) в качестве базовой машины регулируемого электропривода позволяет существенно повысить перегрузочную способность при двухзонном регулировании угловой скорости ротора. Кратность максимального электромагнитного момента достигает значения $n = 20$ на синхронной скорости и $n = 1,8$ на скорости $\omega_e = 4\omega_c$ по сравнению с длительно допустимым значением момента.

При поддержании постоянства ЭДС взаимоиндукции $E_\delta = \text{const}$ механическая мощность на валу достигает двух номинальных и снижается обратно пропорционально скорости ротора с её увеличением выше двух синхронных. При поддержании постоянства напряжения статора $U_{sh} = \text{const}$ механическая мощность также достигает двух номинальных, но остаётся постоянной с

ростом угловой скорости выше двух синхронных. В обоих случаях по цепям статора и ротора потребляются примерно одинаковые активные мощности, равные половине механической мощности.

Оба варианта управления магнитным потоком обеспечивают высокие энергетические характеристики асинхронизированного вентильного двигателя – КПД $\eta \approx 0,98$ и $\cos\varphi \approx 0,96$ при номинальных значениях $\eta_H = 0,905$ и $\cos\varphi_H = 0,9$ у базовой машины.

Для приводов с высокой динамикой необходимо поддерживать постоянство ЭДС взаимоиндукции. Для механизмов, не критичных к динамике, на скоростях выше двух синхронных целесообразно поддерживать максимальное напряжение на статоре $U_{sh} = \text{const}$.

Библиографические ссылки

1. Онищенко Г.Б., Локтева И.Л. Асинхронные вентильные каскады и двигатели двойного питания. М.: Энергия, 1979. 200 с.
2. Котин Д.А., Панкратов В.В. Разработка и исследование системы векторного управления машиной двойного питания // Материалы IX междунар. конф. «Актуальные проблемы электронного приборостроения (АПЭП-2008)». В 7 т. Новосибирск: Изд-во Новосибирского гос. техн. ун-та, 2008. Т 7. С. 95–100.
3. Сонин Ю.П., Гуляев И.В. Асинхронизированный вентильный двигатель. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 1998. 68 с.
4. Тутаев Г.М. Варианты векторного управления электроприводом с асинхронизированным вентильным двигателем // Электротехнические комплексы и системы управления. 2009. № 3. С. 11–15.
5. Гуляев И.В., Тутаев Г.М., Маняев И.В. Влияние частоты возбуждения на энергетические характеристики асинхронизированного вентильного двигателя // Известия ТулГУ. Технические науки. 2010. Вып. 3: в 5 ч. Ч. 2. С. 81–88.
6. Тутаев Г.М., Гуляев И.В., Маняев И.В. Исследование энергетических характеристик асинхронизированного вентильного двигателя на статической модели // Электротехнические комплексы и системы управления. 2010. № 4. С. 2–7.

Уважаемые читатели!

Перепечатка материалов из журнала «Автоматизация и современные технологии» возможна при обязательном письменном согласии редакции журнала. При этом ссылка на журнал обязательна.



УДК 621.793.14

К.А. Змиева, канд. техн. наук, Е.В. Кузнецова, Д.В. Козлов

(Московский государственный технологический университет «Станкин»)

zmieva@stankin.ru

РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННОЙ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Описан разработанный экспериментальный стенд для исследования характеристик двигателя при различных нагрузках и параметрах питающего напряжения ЭП-1. Рассмотрены полученные с помощью стендаРезультаты исследований. Представлена технология управления параметрами электропитания асинхронного двигателя с целью повышения энергоэффективности машиностроительного оборудования.

Ключевые слова: энергоэффективность, управление, частота, питающее напряжение, асинхронный двигатель, коэффициент мощности.

The developed experimental stand for engine behaviors research at various loadings and applied voltage parameters EP-1 is described. The research results received by means of the stand are considered. The parameters control technology of the asynchronous engine power supply for the purpose of the machine-building equipment energy efficiency increase is introduced.

Key words: energy efficiency, control, frequency, applied voltage, asynchronous engine, power coefficient.

Введение. Проблема энергосбережения с каждым годом становится всё более острой и злободневной. Это связано, во-первых, с ограниченностью основных энергоресурсов, во-вторых, с неизменно возрастающими сложностями их добычи и стоимостью, в-третьих, с глобальными экологическими проблемами, обозначившимися на рубеже тысячелетий. Угроза изменения климата, вопросы энергетической безопасности и рост потребления энергии в развивающихся странах – это основные проблемы. Глобальный экономический кризис сделал тему энергосбережения ещё более актуальной. В реализации политики ресурсосбережения и энергоэффективности заложены серьёзные резервы для борьбы с последствиями кризиса и модернизации экономики.

Анализ структуры энергопотребления в мире показал, что относительно много энергии тратится на нужды промышленности. На долю промышленности приходится почти одна треть потребления энергии в мире и 36 % выбросов CO₂. В целом с 1971 по 2004 гг. конечное потребление энергии промышленностью возросло на 61 %.

В России потребление электрической энергии промышленностью составляет 55 % и является значительным по сравнению с другими отрасля-

ми хозяйственной деятельности. Основной причиной столь высокого потребления энергии является то, что многие производственные процессы имеют очень низкую энергоэффективность, а средний уровень энергопотребления намного выше того, который может быть гарантирован в рамках передовых, уже доступных технологий.

Одной из энергоёмких сфер промышленности Российской Федерации является машиностроение. Доля машиностроения в общей структуре энергопотребления составляет в среднем 20 % и имеет устойчивую тенденцию к росту.

Основной потребитель электроэнергии на машиностроительных предприятиях – асинхронный электропривод (порядка 70 % от общего количества потребляемой электроэнергии). Асинхронные электродвигатели обеспечивают работу станков, насосов, компрессоров, конвейеров, лифтов, кранов, подъёмников и другого технологического оборудования. Широкое применение асинхронных двигателей объясняется их достоинствами по сравнению с другими двигателями: высокая надёжность, возможность работы непосредственно от сети переменного тока, простота обслуживания. Наряду с этим асинхронные электродвигатели имеют существенный недостаток – при не-

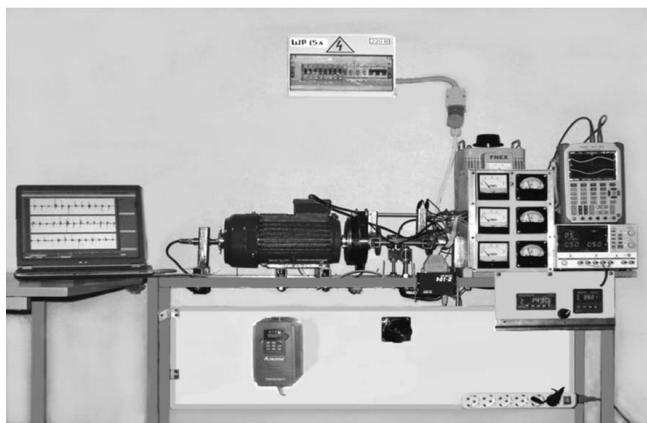


Рис. 1. Экспериментальный стенд ЭП-1

догрузке двигателя его КПД снижается до значений 0,1–0,2. А так как в различных технологических процессах такое явление встречается часто, то вопрос о внедрении мероприятий по повышению энергоэффективности асинхронного электропривода является актуальным и перспективным [1–3].

В настоящее время ведётся множество исследований в области повышения энергоэффективности асинхронного электродвигателя. Для создания энергосберегающих алгоритмов в ряде направлений данной области исследований необходимо детальное знание характеристик двигателя при различных нагрузках и подаваемых напряжениях. Однако в литературе приведены только общие характеристики двигателей при стандартных значе-

ниях формы и величины питающего напряжения. И этих данных порой бывает недостаточно.

В связи с этим был разработан экспериментальный стенд ЭП-1 (рис. 1), позволяющий одновременно определять значения следующих величин:

- частота вращения выходного вала двигателя;
- нагрузочный момент на валу двигателя;
- фазные токи в обмотке двигателя;
- фазные напряжения в обмотке двигателя.

Стенд ЭП-1 позволяет детально изучить необходимые характеристики двигателя при различных нагрузках и подаваемых напряжениях. При помощи этих данных можно выявить различные зависимости:

частоту вращения выходного вала двигателя от напряжения питания при различных нагрузках;

коэффициент мощности двигателя от напряжения питания при различных нагрузках;

величину сдвига фаз от напряжения питания при различных нагрузках;

скорость вращения от нагрузочного момента при различных питающих напряжениях;

коэффициент мощности от нагрузочного момента при различных питающих напряжениях;

энергопотребление от нагрузочного момента при различных питающих напряжениях и т. д.

Описание экспериментального стенда ЭП-1.

Стенд состоит (рис. 2) из исследуемого электродвигателя ЭД, кинематически подключённого к управляемому нагрузочному устройству (НУ). Устройство предназначено для создания на валу двигателя нагрузочного момента в диапазоне от

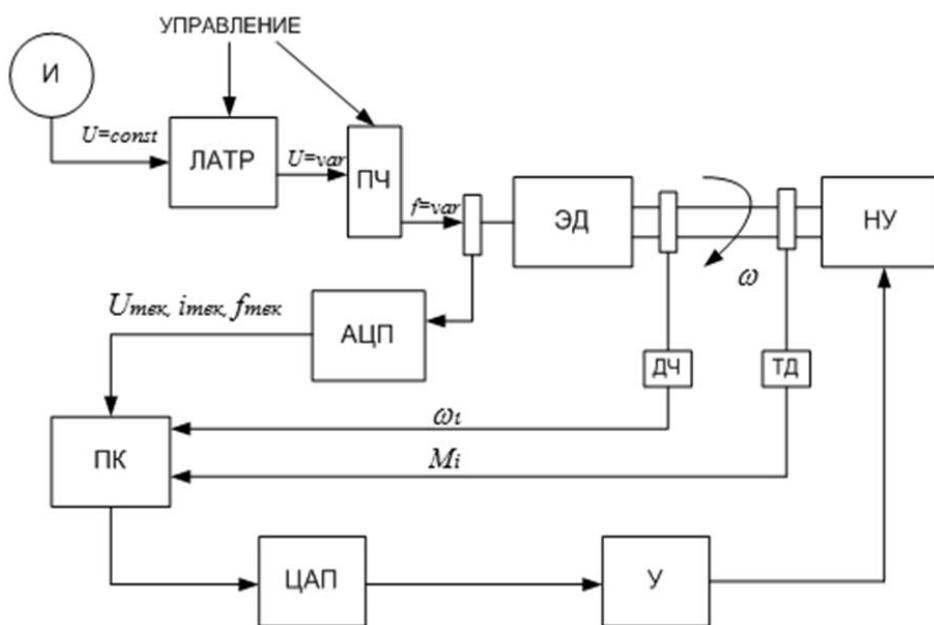


Рис. 2. Схема экспериментальной установки для исследования характеристик двигателя ЭП-1

нулевого до предельно допустимого для данного двигателя. Амплитуда напряжения регулируется автотрансформаторами (ЛАТР – лабораторный автотрансформатор, имеет подвижные токосъёмные контакты, установленные на каждой из трёх фазовых обмоток, что позволяет плавно регулировать напряжение).

Нагрузочный момент на валу двигателя измеряется торсионным датчиком момента (ТД). Значение момента индицируется на табло преобразователя. Преобразователь частоты (ПЧ) позволяет регулировать частоту напряжения в диапазоне от 50 до 400 Гц. Связь между преобразователем PR6000-0040T3G и клавиатурным пультом дистанционного управления осуществляется посредством протокола RS485. Частота вращения вала двигателя измеряется датчиком частоты вращения (ДЧ), в качестве которого используется энкодер с усилителем-преобразователем. Значение частоты вращения также отображается на табло.

На шесть входов восьмиканального аналого-цифрового преобразователя (АЦП) подаётся напряжение, пропорциональное фазным напряжениям и фазным токам двигателя. АЦП превращает эти величины в 12-битовые числа с частотой выборки 9 кГц, т. е. через два электрических градуса. Эти шесть последовательностей чисел поступают в ПК по USB-кабелю и могут отображаться на дисплее в режиме реального времени.

Аналоговое напряжение, пропорциональное нагрузочному моменту, также оцифровывается и вводится в компьютер по седьмому каналу АЦП. По восьмому каналу в компьютер поступает информация о частоте вращения вала двигателя.

Канал цифроаналогового преобразователя (ЦАП), входящий в модуль сбора информации, выдаёт управляющий сигнал. Этот сигнал, который усиливается с помощью усилителя (У) до необходимой мощности, управляет нагрузочным устройством. Таким образом, в каждый момент времени доступны величины мгновенных значений тока и напряжения во всех трёх фазах, значение нагрузки на валу и частота вращения вала двигателя.

Для сбора и обработки данных, получаемых в ходе экспериментов, используется программа LabVIEW. Одно из преимуществ этой программы заключается в том, что данные, отражающие рабочие характеристики двигателя, могут как отображаться в реальном режиме времени, что даёт возможность оперативно управлять параметрами двигателя, так и записываться в память компьютера для дальнейшего их изучения и анализа.

Рассматриваемый стенд является универсальным и подходит для исследования характеристик различных типов асинхронных двигателей. В слу-

чае если описанных выше данных недостаточно для проводимых исследований, схема стенда может быть модернизирована включением необходимых элементов [4].

Разработка компьютерной программы «Расчёт коэффициента мощности». Чтобы правильно оценить эффективность работы оборудования, в частности асинхронного двигателя как основного потребителя электрической энергии, необходимо оперативно измерять точное значение его коэффициента мощности при различных режимах работы. В классической электротехнике для нахождения коэффициента мощности нагрузки при синусоидальных токах и напряжениях достаточно определить угол сдвига фаз между током и напряжением и найти его косинус. Токи и напряжения в ряде случаев благодаря специальному принимаемым мерам действительно можно считать синусоидальными.

Однако резкое изменение структуры энергопотребления в последнее время поставило перед потребителями электроэнергии новые задачи. Эти изменения вызваны внедрением нового современного оборудования, которое является принципиально нелинейным и даже более того, нестационарным потребителем электроэнергии. Таким образом, форма потребляемого ими тока резко отличается от формы подаваемого на них напряжения. Для управления асинхронными двигателями всё чаще используют сложные электрические схемы, включающие значительное количество нелинейных элементов. Асинхронные электродвигатели в значительной доле оборудования на производстве уже работают не напрямую от трёхфазной промышленной сети, а подключены через специальные устройства, позволяющие изменять частоту и напряжение – частотные преобразователи, которые дают значительное искажение формы кривой напряжения и тока.

При проведении исследований с преобразователем частоты на экспериментальном стенде ЭП-1 было замечено, что формы тока и напряжения существенно отличаются от синусоидальных (рис. 3).

В таких случаях расчёт коэффициента мощности как косинуса угла сдвига фаз между током и напряжением является некорректным. Графики тока и напряжения в общем случае не подобны, так что понятие об угле сдвига фаз, введённое для синусоидальных функций, не может быть применено [5].

Ошибочный результат будут давать приборы электромеханического типа – ватт- и варметры, стрелочные фазометры, так как они спроектированы на измерение параметров электросетей с синусоидальными токами и напряжениями. Сильно искажённый нелинейными потребителями ток содержит большое количество высших гармоник,

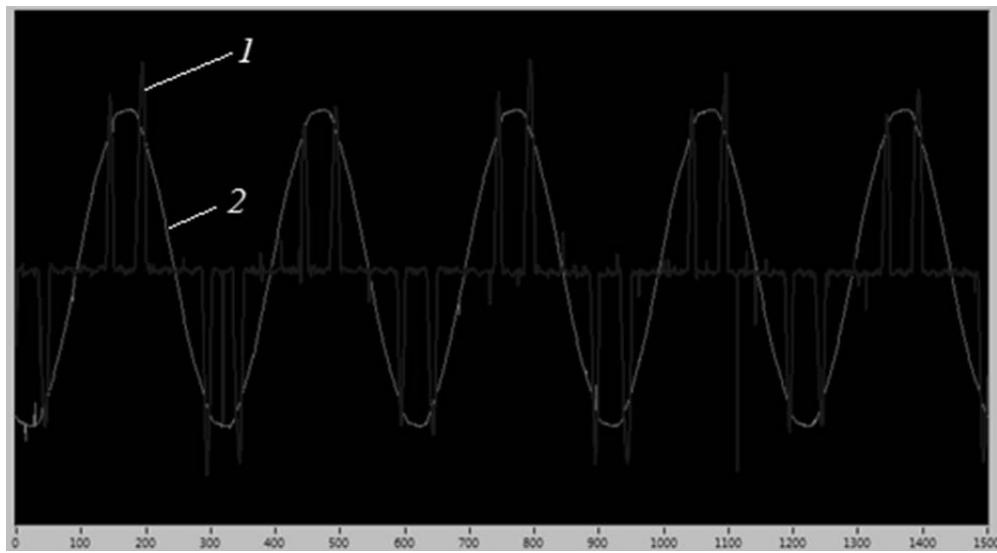


Рис. 3. Осциллографмма тока (1) и напряжения (2) при изменении частоты питающей сети

в то время как электромеханический прибор практически не реагирует на гармоники выше пятой.

Кроме того, алгоритм измерения коэффициента мощности, основанный на измерении временного интервала между переходами через ноль графиков тока и напряжения, заложенный в современных цифровых приборах (цифровые фазометры) для измерения коэффициента мощности, также будет давать неверный результат [6].

Если имеют место сильные искажения формы тока и напряжения, то коэффициент мощности принято рассчитывать как косинус угла сдвига фаз между основными гармониками тока и напряжения, т. е. надо выделить основные гармоники сети (50 Гц) и найти разность фаз между ними. Однако при этом не учитывается вклад высокочастотных гармоник, суммарная мощность которых при сильном искажении кривых тока и напряжения, в особенности при их импульсном характере, сравнима с мощностью основной гармоники.

В связи с описанным выше была поставлена задача провести расчёт значений коэффициента мощности различными методами, по реальным значениям тока и напряжения, полученных с АЦП, с целью определения их эффективности и точности в условиях несинусоидальности цепи. После проведения исследования по нахождению коэффициента мощности описанные выше алгоритмы расчёта подтвердили свою неэффективность, оказались более трудоёмкими и не достигали требуемой точности, кроме того, при сильном искажении кривых тока и напряжения давали неверный результат. В итоге был разработан алгоритм, в котором используется численное интегрирование. В его основе заложена классиче-

ская формула нахождения коэффициента мощности как отношение активной мощности к полной, т. е.

$$\lambda = \frac{P}{S},$$

где P – активная мощность; S – полная мощность.

Полная мощность определяется по формуле

$$S = UI,$$

где U и I – действующие (эффективные) значения напряжения и тока, определяемые следующими выражениями:

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt};$$

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}.$$

Активная мощность не зависит от формы токов и напряжений и равна отношению израсходованной в цепи за некий интервал времени энергии к продолжительности этого интервала, т. е. расчёт активной мощности протекает без учёта формы кривой тока и напряжения:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T p(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T u(t)i(t) dt.$$

Период интегрирования T выбирался таким образом, чтобы в нём умещалось достаточное количество полных периодов основной частоты питающего напряжения, и при этом вычисленные на интервале в один период среднеквадратичные значения тока и напряжения оставались примерно постоянными. В рассматриваемых вычислениях этот интервал также выбирался равным одной секунде.

Предложенный алгоритм имеет наименьший вычислительный объём, максимальную простоту и наглядность, основан на классических электротехнических формулах, подходит для расчёта коэффициента мощности как для цепей синусоидального тока и напряжения, так и для несинусоидальных, в том числе сильно нелинейных и нестационарных, так как расчёт значения коэффициента мощности не зависит от формы питающего напряжения и тока.

Для проверки и анализа разработанного алгоритма в среде Microsoft Excel на языке Visual Basic for Applications была написана компьютерная программа «Расчёт коэффициента мощности». Чтобы получить результаты нужной точности, необходимо найти правильный компромисс между частотой дискретизации исходных аналоговых сигналов (токов и напряжений) и разрядностью квантования отсчётов.

Слишком высокая частота дискретизации кроме резкого увеличения объёма вычислений приведёт к росту погрешности вычисления из-за накопления ошибок округления, а неоправданно низкая частота дискретизации можетнести дополнительную погрешность при наличии на графиках тока и/или напряжения узких и высоких импульсов, так как они могут попасть

между отсчётыми дискретизации и не будут учтены при интегрировании. Выбор большого числа уровней квантования также потребует повышения объёма вычислений, а малое количество уровней квантования увеличит погрешность расчётов.

При реализации алгоритма была выбрана частота дискретизации 15 кГц на канал или 300 отсчётов на период основной частоты. Выбор длины отрезка интегрирования в одну секунду позволяет учесть все гармоники с интервалом 1 Гц вплоть до частоты 7500 Гц, т. е. до 150-й гармоники основной частоты. 12-битовое квантование даёт точность измерения тока и/или напряжения в 0,05 %, что заведомо лучше точностных показателей любого измерительного прибора. Уровень шумов в условиях лабораторного стенда составляет 0,5 %, так что по этому показателю имеется десятикратный запас.

Вычисления проводились в системе 64-битной арифметики с округлением на самой последней стадии, перед выдачей результата, поэтому чисто вычислительные погрешности при реализации данного алгоритма можно не учитывать. Таким образом, алгоритм, заложенный в программе, определяет значение коэффициента мощности с большой точностью, что позволяет дать объективную оценку эффективности работы оборудования, к тому же, программа может быть использована для расчёта коэффициентов мощности трёхфазного асинхронного двигателя и любого потребителя электрической энергии.

Для автоматизации процесса получения и анализа данных в реальном режиме времени разработанный алгоритм был переписан на язык программирования в среде LabVIEW (рис. 4).

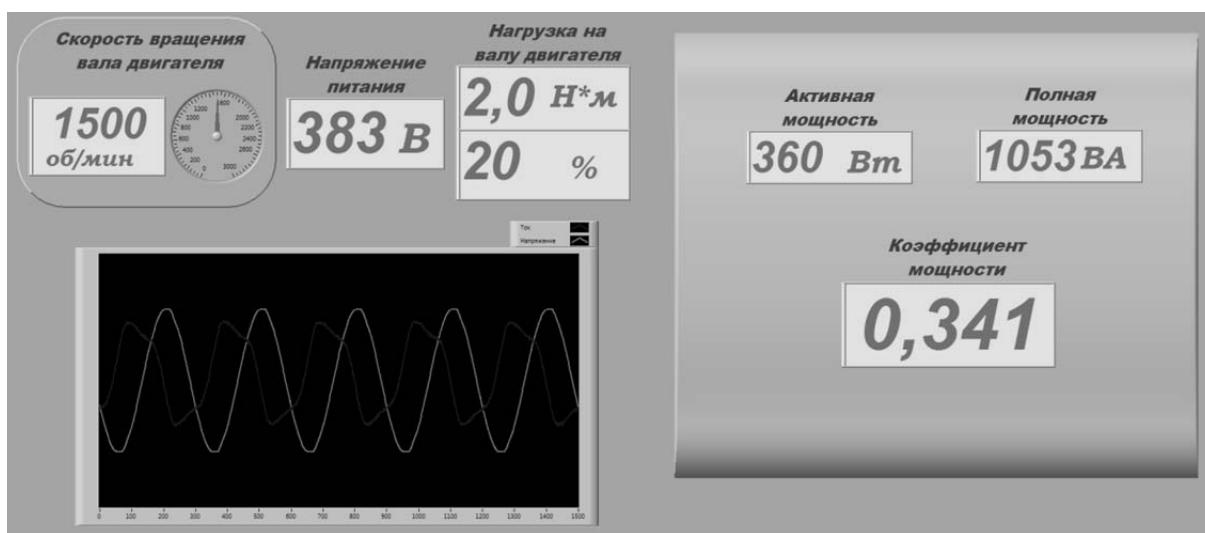


Рис. 4. Окно программы для просмотра и сбора данных в среде LabVIEW

Разработка технологии управления параметрами электропитания асинхронного двигателя с целью повышения энергоэффективности машиностроительного оборудования. Описанный комплекс технических и информационных средств позволил провести серию экспериментов, направленных на поиск методов по снижению потребления электрической энергии асинхронным двигателем. Работы проводились в два этапа:

на двигатель подавался симметричный трёхфазный синусоидальный переменный ток различного напряжения;

проводилось регулирование частоты питающего напряжения при различных нагрузках на двигателе.

В ходе экспериментов по управлению амплитудой питающего напряжения было обнаружено, что в режимах значительной недогрузки двигателя снижение амплитуды даёт энергосберегающий эффект, а именно: повышает значения коэффициента мощности асинхронного двигателя, при этом частота вращения вала двигателя изменяется несущественно (не более 10 %).

Понижение амплитуды питающего напряжения приводит к увеличению коэффициента мощности (рис. 5). Так, например, на холостом ходу уменьшение амплитуды питающего напряжения с 380 до 75 В привело к повышению коэффициента мощности со значения 0,21 до 0,86 при незначительном падении частоты вращения выходного вала асинхронного двигателя. А при нагрузке 27 % от номинальной удалось достигнуть значения коэффициента мощности 0,86 при напряжении питания 160 В. Причём во всех случаях

частота вращения выходного вала двигателя изменяется несущественно, что позволяет предположить возможность применения такого управления с целью снижения энергопотребления в реальных технологических процессах.

На рис. 6 показан диапазон падения частоты вращения выходного вала при снижении амплитуды питающего напряжения для четырёх уровней нагрузки. Из графика видно, что для каждого случая (при каждой нагрузке) существуют области постоянного значения частоты вращения вала, малого изменения, значительного её снижения и область останова.

В большинстве случаев падение производительности недопустимо, а повышение производительности, наоборот, приводит к увеличению качества изготавливаемой продукции и снижению времени технологического цикла, что положительно отразится на себестоимости изделий [7].

Для поддержания частоты вращения вала двигателя в допустимых пределах, а соответственно, и производительности на высоком уровне проводились эксперименты с увеличением частоты питающего напряжения при изменяющейся нагрузке на выходном валу (рис. 7).

Даже при незначительном повышении используемой частоты (с 50 до 55 Гц) частота вращения выходного вала возрастает, а это значит, что возрастает и производительность.

Таким образом, задача заключается в нахождении оптимального режима электропитания для каждого технологического перехода в процессе работы двигателя.

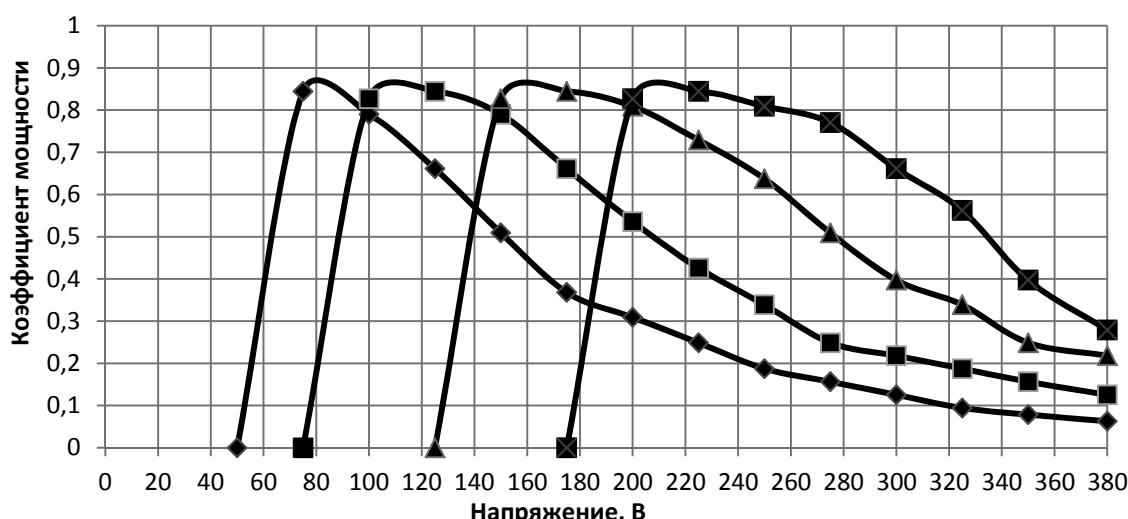


Рис. 5. Зависимость коэффициента мощности двигателя от напряжения питания:

- ◆— на холостом ходу; —▲— при нагрузке 2,7 Н·м (27 % от $P_{ном}$); —■— при нагрузке 0,9 Н·м (9 % от $P_{ном}$);
- ×— при нагрузке 3,9 Н·м (39 % от $P_{ном}$)

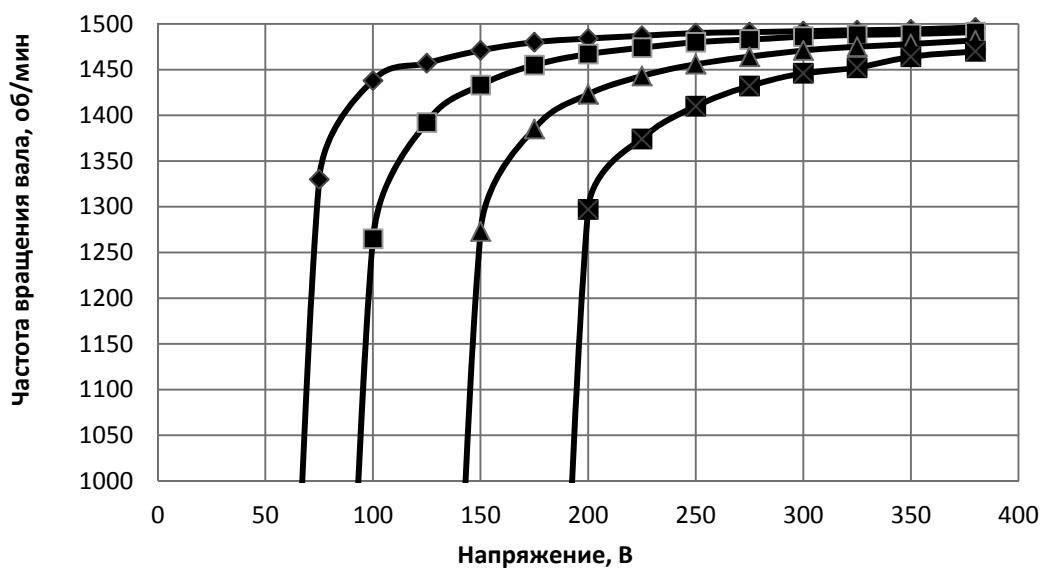


Рис. 6. Падение частоты вращения выходного вала двигателя при снижении напряжения питания для четырёх уровней нагрузки:
—♦— холостой ход; —▲— при 27 % от $P_{\text{ном}}$; —■— при 9 % от $P_{\text{ном}}$; —✖— при 39 % от $P_{\text{ном}}$

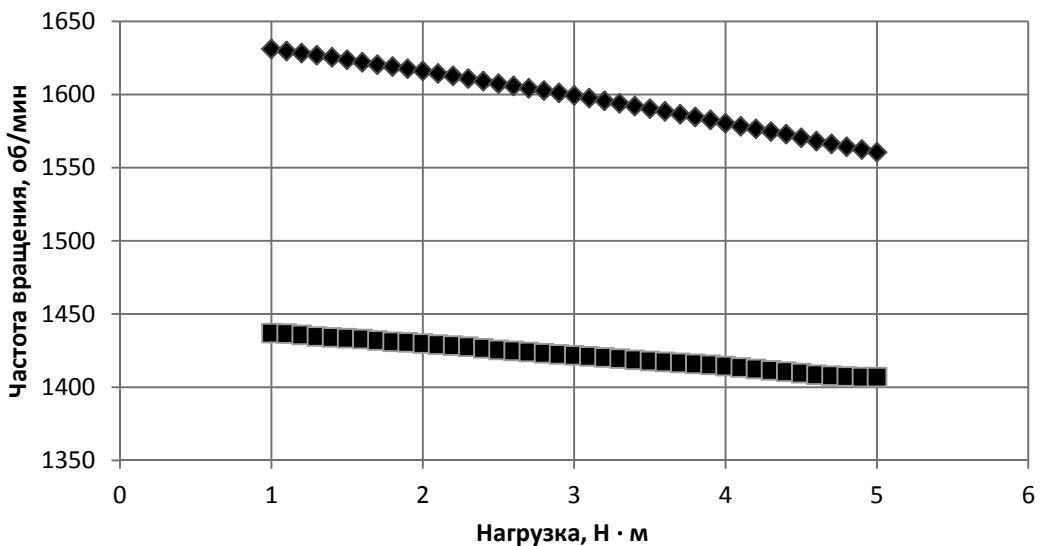


Рис. 7. Зависимость частоты вращения вала двигателя от нагрузочного момента при изменении частоты:
—♦— частота вращения 55 Гц; —■— частота вращения 50 Гц

Заключение. Для снижения энергопотребления и повышения производительности асинхронного двигателя в режиме недогрузки необходимо одновременно осуществлять амплитудное и частотное управление двигателем, т. е. поддерживать оптимальные значения коэффициента мощности и частоты вращения вала двигателя в конкретном нагрузочном режиме. Задача заключается в том, чтобы при заданном моменте нагрузки и заданной скорости ротора определить такие значения частоты и амплитуды напряжения, при которых двига-

тель работал бы с максимальной энергоэффективностью, т. е. обеспечивался минимум потерь, поддерживалось оптимальное значение коэффициента мощности.

Благодаря разработанному стенду и созданному для него программному обеспечению поиск оптимальных режимов работы асинхронных двигателей не составляет труда.

В настоящее время ведутся работы по созданию устройства для реализации автоматического управления параметрами питающего напряжения асин-

хронных двигателей. Применение данного устройства позволит сократить энергопотребление технологического оборудования на базе асинхронного электропривода, работающего в режиме переменных нагрузок, при сохранении и повышении производительности оборудования и качества изготавливаемой продукции.

Работа выполнена в рамках Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007–2013 годы»

Библиографические ссылки

1. Змиева К.А. Применение автоматических компенсаторов реактивной мощности для повышения энергоэффективности управления электроприводом металлообрабатывающих станков // Электротехника. 2009. № 11. С. 26–32.

2. Григорьев С.Н., Шумихина Е.М., Змиева К.А. Метод повышения энергоэффективности технологий вакуумно-плазменного нанесения покрытий // Вестник МГТУ «Станкин». 2010. № 1. С. 82–87.

3. Григорьев С.Н., Волосова М.А. Технология комбинированного поверхностного упрочнения режущего инструмента из оксидно-карбидной керамики // Вестник машиностроения. 2005. № 9. С. 32–36.

4. Козлов Д.В., Змиева К.А., Шумихина Е.М. Экспериментальная установка для исследования характеристик двигателя при различных нагрузках и питающих напряжениях // Электротехнические комплексы и системы управления. 2011. № 1. С. 12–18.

5. Змиева К.А. Метод снижения энергопотребления за счёт автоматического управления величиной реактивной мощности // Вестник МГТУ «Станкин». 2008. № 3. С. 22–27.

6. Змиева К.А. Повышение эффективности управления процессом механообработки на основе автоматизированной системы энергосбережения // Безопасность жизнедеятельности. 2009. № 10. С. 6–8.

7. Змиева К.А. Методика повышения энергоэффективности асинхронного электродвигателя посредством организации амплитудно-частотного управления электропитанием // Электротехнические комплексы и системы управления. 2010. № 3. С. 39–44.

УДК 621.314

Т.А. Ахмедова, канд. техн. наук, доц.

(Сумгaitский государственный университет, Азербайджанская Республика)

tamella.ahmedova@mail.ru

LC-АВТОГЕНЕРАТОРНЫЕ ДАТЧИКИ ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ И УПРАВЛЕНИЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИМИ КОМПЛЕКСАМИ

Рассмотрено создание LC-автогенераторного датчика для информационно-измерительной системы и управления робототехническими комплексами. Приведена электрическая схема LC-автогенератора с индуктивной обратной связью, а также модель LC-автогенератора при наличии комплексной формы индуктивности. Определены резонансные частоты автогенератора. Полученное аналитическое выражение резонансной частоты позволяет получить рабочие характеристики датчика с точностью 2 %.

Ключевые слова: автогенератор, интегральная схема, индуктивность, колебательный контур.

LC-autogenerator sensor creation for information measuring system and robotics complexes control is considered. LC-autogenerator electric scheme with inductive counter connection and LC-autogenerator model with inductance combined form are adduced too. Autogenerator resonance frequency are defined. Received analytical expression of resonance frequency allows to get sensor working behavior with accuracy 2%.

Key words: autogenerator, integral scheme, inductance, oscillatory circuit.

До настоящего времени были созданы LC-автогенераторные датчики с возможностью многоascadeного усиления в цепи обратной связи. Однако в таких датчиках увеличивается нестабильность фазовых сдвигов вследствие усложнения в цепи обратной связи и схемы датчика для преобразования неэлектрической величины в

частоту синусоидального тока или напряжения. Основные требования, предъявляемые к генератору частотных датчиков, заключаются в следующем [1, 2]:

генератор должен устойчиво работать во всем диапазоне перестройки частотно-зависимой системы;

при постоянном значении входной величины генератора выходная частота должна быть стабильной и не должно быть ни медленного дрейфа, ни быстрых флюктуаций частоты;

влияние на частоты генератора внешних факторов (температуры, напряжения питания и т. д.) должно быть минимальным;

амплитуда и форма кривой выходного напряжения генератора должны соответствовать требованиям последующих узлов цепи во всём диапазоне перестроек и рабочих условий;

схема генератора должна быть по возможности простой и надёжной, некритичной к изменениям параметров её элементов;

в автоколебательных датчиках, в первую очередь, должны быть удовлетворены требования стабильности;

в датчиках с вынужденными колебаниями очень важным является синусоидальность формы выходного напряжения.

Для обеспечения перечисленных выше требований возникает необходимость применения новых элементов при создании *LC*-автогенераторных датчиков, позволяющих преобразование частоты синусоидального электрического сигнала.

Достижения в области микроэлектроники непрерывно улучшают технические характеристики и расширяют функциональные возможности *LC*-автогенераторных датчиков. При конструировании таких датчиков необходимо учитывать желательную простоту конструкции и изготовления, стабильность их параметров, процесс эксплуатации, а также внешние факторы, влияющие на их работу.

Рассматриваемый автогенераторный датчик расстояний построен на интегральной схеме (ИС) универсального усилителя, анализ которого ведётся для определения частоты генерации и коэффициента усиления активного элемента. В соответствии с принципами построения *LC*-автогенераторов подключена цепь положительной обратной связи между входом и выходом ИС [2,3].

При этом получаем замкнутую генераторную систему, в качестве которой используется выходной эмиттерный повторитель для развязки генератора и нагрузки (рис. 1).

LC-автогенератор состоит из параллельного колебательного контура с индуктивной обратной связью. Индуктивный колебательный контур собран на магнитопроводе из сплошного ферромагнитного сердечника, изготовленного из конструкционной стали [4]. Так как ферромагнитный сердечник находится в синусоидальном магнитном поле, то в теле сердечника возникает сильно выраженный поверхностный эффект. При этом индуктивности обмотки колебательного контура представляются в комплексном виде: $L_1 = L_{1a} - jL_{1p}$, $L_2 = L_{2a} - jL_{2p}$, а комплексные индуктивные сопротивления записываются в виде

$$\begin{aligned} Z_1 &= r_1 + j\omega L_1 = r_1 + j\omega(L_{1a} - jL_{1p}) = \\ &= r_1 + \omega L_{1p} + j\omega L_{1a} = r_{11} + jx_{11}; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} Z_2 &= r_2 + j\omega L_2 = r_2 + j\omega(L_{2a} - jL_{2p}) = \\ &= r_2 + \omega L_{2p} + j\omega L_{2a} = r_{22} + jx_{22}, \end{aligned} \quad (2)$$

где r_1 , r_2 – соответственно омические сопротивления катушки; L_1 , L_2 – индуктивности, а L_{1a} , L_{2a} , L_{1p} , L_{2p} – активная и реактивная составляющие индуктивностей колебательного контура.

Наиболее перспективным представляется создание широкополосного интегрального усилителя (ШИУ) на основе многокаскадных усилителей с петлями общей отрицательной обратной связи, содержащих каскады, скорректированные местными или корректирующими двухполюсниками. Многокаскадный ШИУ математически может быть описан матрицей, синтезированной из матриц соответствующих линейных четырёхполюсников с использованием какой-либо обобщённой

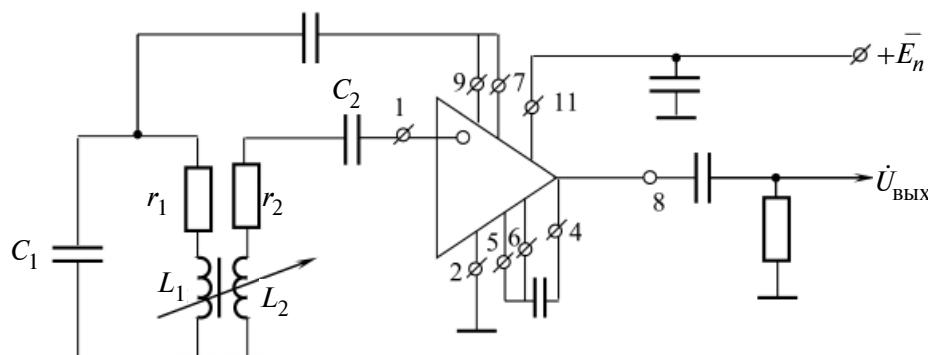


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема *LC*-автогенератора

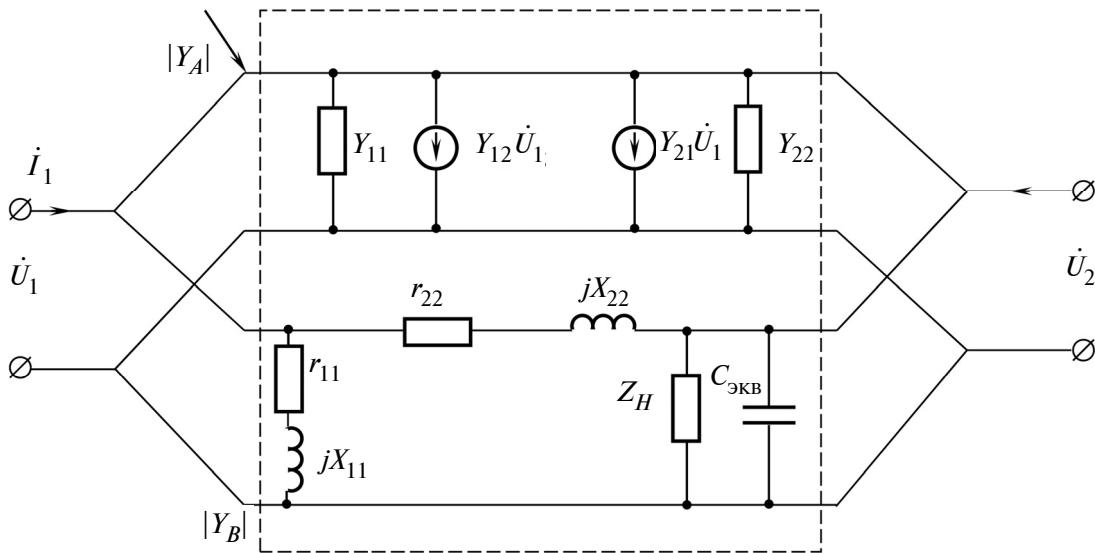


Рис. 2. Модель LC-автогенератора

системы параметров четырёхполюсника. Отсюда вытекает, что многокаскадный ШИУ и *LC*-автогенератор можно представить в виде модели соединения двух линейных четырёхполюсников (рис. 2), т. е.

$$\begin{aligned} [Y_\Gamma] &= [Y_A] + [Y_B] = \\ &= \left\{ \begin{array}{l} Y_{11} + \frac{1}{r_{11} + jx_{11}} + \frac{1}{r_{22} + jx_{22}}; \\ Y_{22} - \frac{1}{r_{22} + jx_{22}}; \\ Y_{21} - \frac{1}{r_{22} + jx_{22}}; \\ Y_{22} + Y_H + \frac{1}{r_{22} + jx_{22}} + j\omega C_{\text{экв}} \end{array} \right\}. \end{aligned} \quad (3)$$

Условия самовозбуждения системы требует, чтобы определитель матрицы (3) был равен нулю. После соответствующих упрощений и сокращений для частоты колебаний выходного сигнала автогенератора получим

$$\omega^2 - \omega B_1 - B_2 = 0, \quad (4)$$

где

$$B_1 = \{Y_{11}Y_{22}(L_{1a}L_{2p} - L_{1p}L_{2a}) + C_{\text{экв}}[(1 + Y_{11}r_2)L_{1p} + (1 + Y_{11}r_1)L_{2p}]\}/C_{\text{экв}}Y_{11}(L_{1p}L_{2p} + L_{1a}L_{2a}) - [Y_{11}(Y_{22} + Y_H)(L_{1a}L_{2p} + L_{1p}L_{2a})]/[C_{\text{экв}}Y_{11}(L_{1p}L_{2p} + L_{1a}L_{2a})], \quad (5)$$

$$B_2 = \{Y_{11}(Y_{22} + Y_H)[(r_1L_{2a} + r_2L_{1a}) + (Y_{11} + 2Y_{22} + Y_H + Y_{21})L_{1a}]\}/[C_{\text{экв}}Y_{11}(L_{1p}L_{2p} + L_{1a}L_{2a})] + [(Y_{22} + Y_H)L_{2a} - Y_{11}Y_{22}(L_{1a}r_2 + r_1L_{2a})]/[C_{\text{экв}}Y_{11}(L_{1p}L_{2p} + L_{1a}L_{2a})]. \quad (6)$$

Проводя подробный анализ для режима работы в низком диапазоне частоты от 0,02 до 1МГц, получаем следующее неравенство:

$$(\omega^2 - B_1) \gg \omega B_1. \quad (7)$$

При этом из равенства (4) находим частоты колебаний автогенератора и, пренебрегая бесконечно малыми величинами, получим

$$\omega = \sqrt{\frac{A_{12}L_{1a} + A_{13}L_{2a}}{Y_{11}C_{\text{экв}}(L_{1p}L_{2p} + L_{1a}L_{2a})}}, \quad (8)$$

где $C_{\text{экв}} = C_1 + C_n$; C_1 – ёмкость колебательного контура; C_n – паразитная ёмкость,

$$A_{12} = Y_{11} + 2Y_{22} + Y_{21} + Y_H; A_{13} = Y_{22} + Y_H.$$

Полученная формула позволяет определить колебание выходного напряжения автогенератора в зависимости от параметров ИС и параметров магнитной системы его колебательного контура.

Так как паразитная ёмкость C_n при низкой частоте является весьма малой величиной, можно записать $C_{\text{экв}} = C_1$. Учитывая, что Y_{11} характеризуется параметрами ИС и который можно представить в виде $Y_{11} = g_3/(1+r_6g_3)$ (где r_6 – сопротивление базы; g_3 – проводимость эмиттерного перехода), выражение (8) запишем в виде

$$\begin{aligned} \omega &= \{ \{1/g_3 C_1 [g_3(1+\beta) + (2Y_{22} + Y_{11}) \times \\ &\times (1 + g_3 r_6)] L_{1a} + (Y_{22} + Y_{11})(1 + r_6 g_3) L_{2a}\} / \end{aligned}$$

$$\frac{1}{(L_{1p} L_{2a} + L_{1a} L_{2a})} \{^{1/2} = [(B_1 L_{1a} + B_2 L_{2a}) / C_1 (L_{1p} L_{2p} + L_{1a} L_{2a})]^{1/2}. \quad (9)$$

где $B_1 = 1 + \beta + (2Y_{22} + Y_H)[(1 + g_3 r_6)/g_3]$, (10)
 $B_2 = (Y_{22} + Y_H)[(1 + g_3 r_6)/g_3]$.

Так как индуктивные катушки L_1 и L_2 имеют одинаковое количество витков, то

$$L_{1a} = L_{2a} = L_{a0} + \Delta L,$$

$$L_{1p} = L_{2p} = L_{p0} + \Delta L. \quad (11)$$

Подставляя (11) в (9), после проведения несложных преобразований и отбрасывая члены, содержащие ΔL^2 и более высоких степеней, получим выражение девиации частоты в виде

$$\Delta\omega = \omega - \omega_q = \omega_0 B \Delta l, \quad (12)$$

$$\text{где } B = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{L_{a0}} \frac{2L_{a0}}{L_{p0}^2 + L_{a0}^2} \right], \quad \omega = \sqrt{\frac{(B_1 + B_2)L_{a0}}{C_1(L_{p0}^2 + L_{a0}^2)}},$$

$$\text{или } \Delta f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{(B_1 + B_2)L_{a0}}{C_1(L_{p0}^2 + L_{a0}^2)}} B \Delta L.$$

Полученное аналитическое выражение позволяет получить рабочие характеристики датчика с точностью 2 %. Эта формула также позволяетвести анализ по чувствительности в зависимости от параметров схемы LC -автогенераторов и параметров колебательного контура.

Понижением добротности с использованием параметров магнитной цепи из конструкционной стали, когда индуктивность является комплексной величиной, обеспечивается стабильность амплитуды в широком диапазоне изменения частоты LC -автогенератора.

Библиографические ссылки

- Новицкий П.В., Кнорринг В.Г., Гутников В.С. Цифровые приборы с частотными датчиками. Л.: Энергия, 1970. 423 с.
- Алексенко А.Г., Шагурин И.И. Микросхематехника. М.: Радио и связь, 1980. 414 с.
- Ламекин П.Ф. Широкополосные интегральные усилители. М.: Советское радио, 1980. 224 с.
- Мамедов Ф.И., Ахмедова Т.А. Определение резонансной частоты автогенератора индуктивного датчика расстояния. Баку: Проблемы энергетики, 2000. С. 103–106.



СПРАВОЧНИК СВАРЩИКА

О.Г. Быковский, В.Р. Петренко, В.В. Пешков

2011 г. 336 с. ISBN 978-5-94275-557-7

Цена 500 р.

Систематизирована информация о свариваемости всех конструкционных сплавов, об электродных материалах и технических возможностях известных способов электрической и газовой сварки, резки, наплавки и напыления сталей и сплавов. Приведены параметры режима этих технологических процессов, технические характеристики современного оборудования для ручных и механизированных способов сварки, резки, наплавки и напыления при изготовлении металлоконструкций.

Для инженеров и специалистов, работающих в области сборочно-сварочного производства, а также студентов, обучающихся по специальности "Оборудование и технология сварочного производства" в учебных заведениях всех уровней аккредитации.

Приобрести книгу в издательстве можно, прислав заявку:

по почте: 107076, г. Москва, Строгановский пер., 4; по факсу: (499) 269-48-97; по e-mail: realiz@mashin.ru
Дополнительная информация по телефонам: (499) 269-52-98, 269-66-00 и на сайте WWW.MASHIN.RU

УДК 621.5

О.Ю. Мартынов, канд. техн. наук (ОАО «НИЦЭВТ», Москва)

martynov@nicevt.ru

МЕТОДИКА РАСЧЁТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Рассмотрена методика оценки эффективности внедрения PDM-технологий, имеющая комплексный характер. Учтены производственные ресурсы предприятия, качество продукции, конкурентоспособность, общая капитализация предприятия. Применена методика ROI для оценки возврата инвестиций. Приведён график зависимости затрат/доходов от длительности внедрения.

Ключевые слова: PDM-технология, информационная технология, ROI, NVP, эффективность.

Having complex character methodology of the efficiency valuation from PDM technologies introduction is considered. Enterprise industrial resources, production quality, competitiveness, the enterprise general capitalization are considered. ROI methodology is applied to investment of capital repayment valuation. The expenses/incomes diagram dependence from introduction duration is adduced.

Key words: PDM-technology, information technology, ROI, NVP, efficiency.

Внедрение PDM-технологий имеет ряд особенностей, не позволяющих рассматривать эффективность их внедрения традиционными способами. Если рассмотреть PDM-технологии как инновационный проект, требующий вложений для его внедрения, адаптации и обслуживания, то применимы одни методы оценки эффективности. Однако не следует забывать, что наряду с базовыми оценочными показателями внедрения PDM-технологий их специфика влияет на общие характеристики предприятия, что позволяет оценивать PDM-технологии как актив предприятия, являющийся неотъемлемой частью целостных экономических показателей всей организации или отдельных её проектов (участков). Таким образом, можно констатировать, что не существует универсально-адаптированной модели оценки эффективности внедрения информационных технологий. Именно поэтому методика оценки эффективности PDM-технологий должна иметь комплексный характер, где учитываются различные критерии оценки эффективности от их внедрения.

Таким образом, методика эффективности внедрения PDM-технологий должна иметь комплексный характер: кроме экономии традиционно выделяемых производственных ресурсов предприятия (комплектующие, энергия и др.) необходимо оценивать влияние новой организации работ на такие показатели предприятия, как качество продукции, новые методы обслуживания клиентов, что, в свою очередь, влияет на конкурентоспособность и общую капитализацию предприятия. В комплексе все эти характеристики достаточно трудно оценить единым количественным показателем. Комплексный характер мето-

дик должен проявляться и при выборе показателей оценки изменений. В расчётах предлагается комбинированное использование качественных и количественных показателей, т. е., рассчитывая эффект от внедрения PDM-системы, необходимо определить эффективность внедрения не только самой PDM-системы, но и новых принципов работы предприятия. Первое предполагает автоматизацию, что приводит к экономии ресурсов, а второе – организационную инновацию [1].

Для оценки экономической эффективности инвестиций в работы по реализации системы информационной поддержки (СИП) жизненного цикла изделия (ЖЦИ), как и прочих ИТ, используются методы, описанные в работах [2, 3].

Затратные методы:

оценка единовременных затрат на внедрение и закупку программно-аппаратных комплексов;

оценка совокупной стоимости владения информационными системами (Total Cost of Ownership, TCO).

Стандартные методы оценки экономического эффекта:

оценка возврата инвестиций (Return on Investment, ROI);

NPV – чистая приведённая стоимость проекта;

отдача активов;

цена акционера.

Кратко рассмотрим каждый из методов.

Метод оценки единовременных затрат на внедрение и закупку программно-аппаратных комплексов можно использовать для минимизации затрат при заранее ожидаемых результатах. Несмотря на все усилия аналитиков, консультантов и специализированных изданий, большинство

предпринимателей и управлением в РФ до сих пор интересуются только этими затратами. Видимые расходы включают следующие группы:

капитальные затраты (на аппаратное и программное обеспечение);

расходы на управление ИПИ-технологиями;

расходы на техническую поддержку аппаратного обеспечения (АО) и программного обеспечения (ПО);

расходы на разработку прикладного ПО внутренними силами;

командировочные расходы;

расходы на услуги связи и другие группы расходов.

Показатель совокупной стоимости приобретения PDM-системы рассчитывается по формуле

$$\text{TCO} = \text{Пр} + Kp_1 + Kp_2,$$

где Пр – прямые расходы; Кр₁ – косвенные расходы первой группы; Кр₂ – косвенные расходы второй группы.

По методике ROI рассчитывается коэффициент возврата инвестиций в инфраструктуру предприятия:

$$ROI = \frac{\text{Эф}}{\text{И}} = \frac{\sum_{i=1}^3 \text{Эф}_i}{\text{TCO}},$$

где Эф – суммарная экономическая эффективность от внедрения информационных технологий; И – инвестиции в ИТ.

Для определения показателя NPV необходимо спрогнозировать величину финансовых потоков за каждый год проекта, а затем привести их к общему знаменателю для сравнения:

$$NPV = \sum_{i=1}^N \frac{CF_i}{(1+r_i)^i} - I_0,$$

где I₀ – первоначальные инвестиции; CF_i – чистый поток средств в i-й год; r_i – годовая ставка дисконта в i-й год; N – период прогнозирования.

Отдача активов. Информационная система рассматривается как активы предприятия, которые должны приносить определённую прибыль. Эффективность использования капитала оценивается, исходя из ставки альтернативной доходности (информационная система приносит большую прибыль, чем вложения в высокодоходные акции):

$$K = \frac{C_D^{\text{ИТ}}}{C_D^{\text{АЛЬТ}}},$$

где K – коэффициент превышения ставки доходности PDM-системы над ставкой альтернативной до-

ходности; C_D^{ИТ} – ставка доходности PDM-системы; C_D^{АЛЬТ} – ставка альтернативной доходности.

Цена акционера. Данный метод является перспективным для применения в промышленности. В будущем стоимость акций компаний и привлечение новых акционеров будут определяться квалифицированностью компаний в вопросах электронного бизнеса и использования всех информационных технологий, предлагаемых рынком. Собственники компаний будут оценивать инвестиции в ИПИ-технологии как вложения в повышение капитализации своих компаний:

$$\text{Эф}_{\text{акц}} = \frac{\text{Эф}}{(Q_1^{\text{акц}} - Q_0^{\text{акц}})},$$

где Эф_{акц} – эффективность инвестиций в PDM-системы на привлечение одного акционера; Эф – эффект внедрения PDM-системы; Q₀^{акц} – количество акционеров до внедрения PDM-системы; Q₁^{акц} – количество акционеров после внедрения PDM-системы.

Основной методологический подход к оценке эффективности внедрения ИПИ-технологий заключается в статистической оценке результатов выполнения однородных процессов до и после внедрения системы или её соответствующего этапа. При этом большое значение имеет выделение рассматриваемого процесса, учёт его влияния на общие результаты предприятия, формирование однородной выборки исходных данных. Для каждого этапа ЖЦИ требуется определять свои показатели эффективности.

В качестве основных факторов эффективности автоматизации производственного процесса можно использовать:

длительность разработки и согласования (проектирования) технологических процессов;

затраты на разработку и согласование (проектирование) технологических процессов;

повышение качества изделия.

Для определения экономического эффекта по этим показателям воспользуемся методикой ROI:

$$ROI = \frac{\sum_{i=1}^3 \text{Эф}_i}{\text{И}} = \frac{\sum_{i=1}^3 \text{Эф}_i}{\text{TCO}},$$

где Эф₁ – эффективность сокращения сроков на технологическую подготовку производства изделия; Эф₂ – эффективность сокращения затрат на разработку и согласование ТП; Эф₃ – эффективность повышения качества изделия (сокращения доли бракованной продукции).

Информационные характеристики могут влиять на ускорение введения изменений в конструкторскую и технологическую документацию и

уменьшение количества ошибок при автоматизации операций преобразования структуры информации. Но оценить количественно качественное улучшение в зависимости от характеристик операций информационной интеграции не представляется возможным. Поэтому при исследовании влияния характеристик на эффективность производственного процесса будем учитывать в основном их влияние на трудоёмкость и длительность процесса, предполагая, что их дополнительное положительное влияние на качество продукции только увеличит эффект от внедрения этих ИТ.

Сравним все перечисленные выше показатели для бумажного и электронного документооборота, что позволит оценить влияние на эффективность производственного процесса предприятия в целом.

Для оценки сокращения сроков на технологическую подготовку производства необходимо сравнить показатели бумажного документооборота (до начала автоматизации) с показателями внедрённой PDM-системы. Для этого необходимо выбрать одинаковые промежутки времени сравнения (например год). Время технологической подготовки производства можно оценивать как сумму времени разработки технологических процессов, прохождения технологической документации по цепочке утверждения до момента сдачи её в архив. Это время – разность между датами начала разработки (фиксируется по моменту документации из КБ либо по началу работ

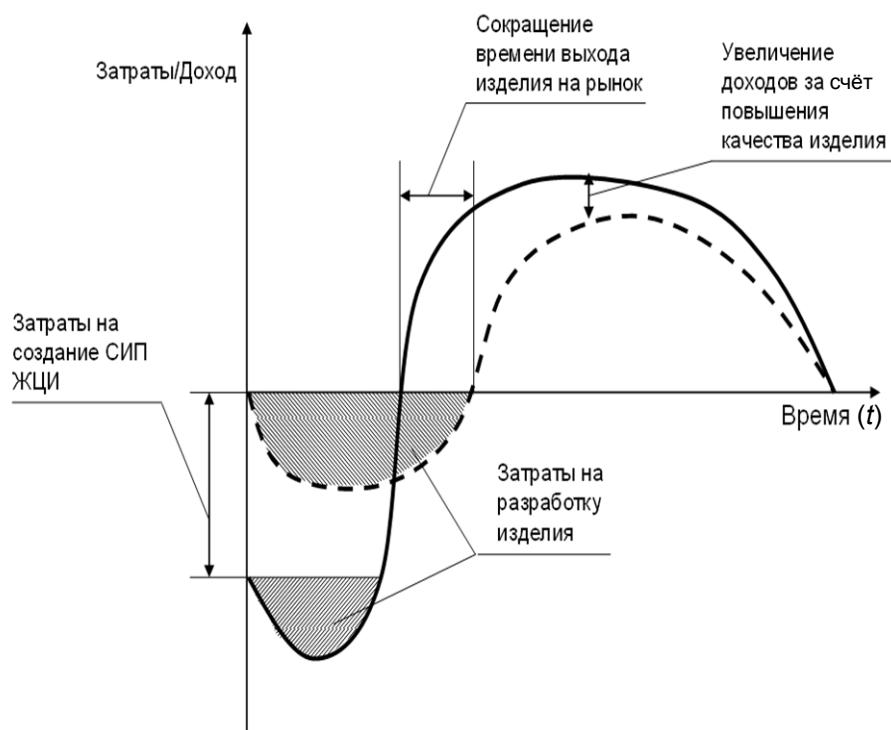
в соответствии с планом-графиком) и окончания разработки (фиксируется по моменту поступления документации в архив).

Влияние изменения всех перечисленных выше показателей на процесс технологической подготовки производства показано на рисунке.

После внедрения PDM-системы распределение финансовых потоков приняло новый вид. На рисунке пунктирной линией показан характер распределения финансовых ресурсов предприятия при производстве изделий до внедрения PDM-системы, а сплошной линией – после внедрения.

Смещение начальной точки на графике объясняется необходимостью финансовых вложений на приобретение сервера, аппаратного обеспечения, лицензий на программное обеспечение и оплату услуг по внедрению системы обследования предприятия, настройку системы в соответствии со спецификой предприятия и т. д.

Сокращение затрат на разработку и согласование техпроцесса объясняется ускорением разработки и согласования технологических процессов (технологической документации), т. е. уменьшением рабочего времени цеховых технологов, сотрудников отдела главного технолога (ОГТ), а также всех сотрудников согласующих служб. За счёт сокращения трудоёмкости разработки межцеховых маршрутов и технологической документации также возможно сокращение штата цеховых технологов и технологов ОГТ.



Зависимость затрат и доходов от времени при внедрении PDM-системы

Из-за значительного ускорения этапа технологической подготовки производства сокращается время выхода изделия на рынок. На графике это отражено смещением точки начала получения доходов.

За счёт повышения качества производимой продукции (снижения процента бракованной продукции) увеличивается получаемая прибыль.

Выводы. Указанный подход позволяет не только применить методику расчёта эффективности внедрения ИТ для их качественной оценки, но и осуществить прогноз развития предприятия и отдельных проектов с учётом применения этих технологий.

ИТ – как комплекс мер, используемый предприятием непосредственно в производственном процессе, является неотъемлемой частью актива, участвующего прямо или косвенно в повышении рентабельности выпускаемой продукции.

Библиографические ссылки

1. Друкер П.Ф. Бизнес и инновации. М.: Вильямс, 2007. 432 с.
2. Староверова Г.С., Медведев А.Ю., Сорокина И.В. Экономическая оценка инвестиций. М.: КНОРУС, 2008. 312 с.
3. Швайцер М. Экономика предприятия. М.: Инфра-М, 2001. 241 с.

УДК 665.37:681.526

Алтайулы С., канд. техн. наук, доц.

(Воронежский государственный университет инженерных технологий)

sagimbek@mail.ru

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА УДАЛЕНИЯ ВЛАГИ ИЗ ФОСФОЛИПИДНОЙ ЭМУЛЬСИИ ПОДСОЛНЕЧНЫХ МАСЕЛ В РОТАЦИОННО-ПЛЁНОЧНОМ АППАРАТЕ

Предложена система автоматического регулирования процесса удаления влаги из фосфолипидных эмульсий подсолнечных масел в вакуумном ротационно-плёночном аппарате, которая позволяет повысить точность регулирования процесса и качество готовой продукции, а также увеличить энергетическую эффективность проведения процесса.

Ключевые слова: фосфолипидная эмульсия, удаление влаги, вакуум, ротационно-плёночный аппарат, автоматическое регулирование.

Automatic regulation system for moisture removing process from the sunflower oil phospholipids emulsion in a vacuum rotationally-film apparatus is proposed. This system allows to rice process regulation accuracy and the finished product quality as well as to increase the energy efficiency of the process.

Key words: phospholipids emulsion of sunflower oil, remove moisture removing, vacuum, rotationally-film apparatus, automatic regulation.

Используемая в настоящее время в масложировой промышленности система автоматического регулирования процесса удаления влаги выпариванием из фосфолипидных эмульсий подсолнечных масел на ротационно-плёночном аппарате обладает следующими недостатками [1]:

отсутствие коррекции технологических режимов на всех стадиях процесса удаления влаги из фосфолипидных эмульсий подсолнечных масел;

высокие потери энергии в связи с отсутствием реализации принципов энергосбережения;

невысокое качество готовой продукции из-за продолжительной тепловой обработки;

отсутствие программно-логического алгоритма функционирования многоканальной системы управления процессом удаления влаги из фосфолипидных эмульсий.

Целью работы является повышение энергетической эффективности процесса удаления влаги и улучшение качества готовой продукции за счёт совершенствования системы автоматического регулирования.

Особенностью предлагаемой системы автоматического регулирования процессом (см. рис.) является то, что удаление влаги из фосфолипидной эмульсии подсолнечного масла в ротацион-

но-плёночном аппарате [2] осуществляется паром низкого давления 16, получаемым в парогенераторе. Парогазофосфолипидную смесь 13, образующуюся в ротационно-плёночном аппарате 1, удаляют и разделяют с помощью фильтра 4 на жидкую фосфолипидную фракцию 14 и парогазовую смесь 15. Смесь откачивают посредством вакуум-насоса 10 с возвратом в режиме замкнутого цикла, где жидкая фосфолипидная фракция направляется на предварительный подогрев в ёмкость 2 влажной исходной фосфолипидной эмульсии 11 для увеличения её текучести. Обезвоженный фосфолипидный концентрат 12 выводят из аппарата в виде готового продукта с последующим подогревом в ёмкости 3 для снижения его вязкости. С этой целью используют хо-

лодильную машину, состоящую из компрессора 5, конденсатора 6, испарителя 7 и терморегулирующего вентиля. Предварительный подогрев влажной исходной фосфолипидной эмульсии и последующий подогрев обезвоженного фосфолипидного концентрата осуществляют нагретой водой 18, подогреваемой в конденсаторе холодильной машины. Парогазовая фракцию 15 после фильтра сначала конденсируется в испарителе холодильной машины, а образовавшийся конденсат 23 вместе с конденсатом 17, образовавшимся в греющей рубашке ротационно-плёночного аппарата, подаётся в сборник конденсата.

При помощи датчиков измеряют следующие технологические параметры:

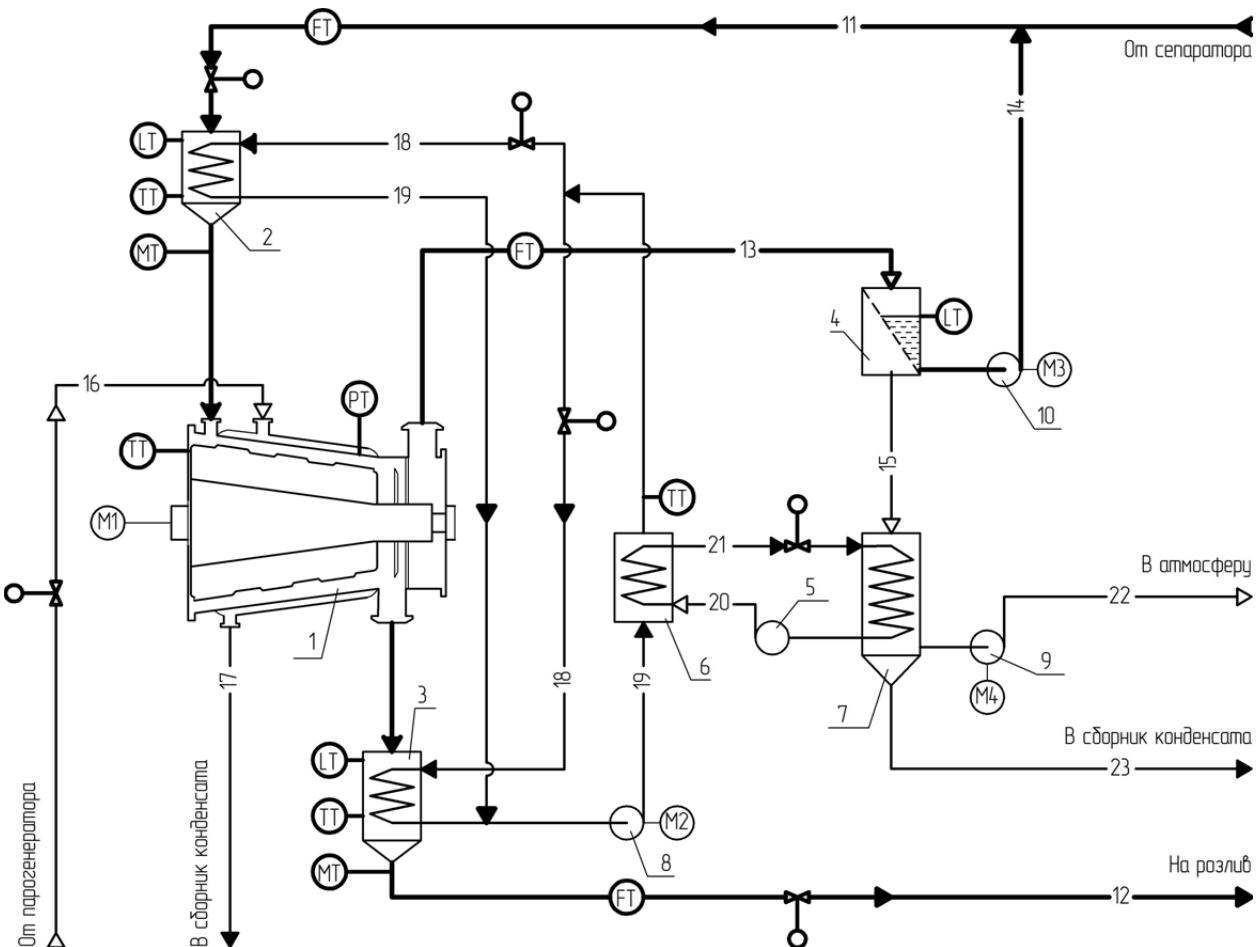


Схема системы автоматического регулирования процесса удаления влаги из фосфолипидной эмульсии подсолнечных масел в ротационно-плёночном аппарате:

1 – ротационно-плёночный аппарат; 2, 3 – ёмкость предварительного подогрева; 4 – фильтр для разделения парогазофосфолипидной смеси; 5 – холодильный компрессор; 6 – конденсатор холодильника; 7 – испаритель холодильника; 8, 9, 10 – насосы; 11 – исходная влажная фосфолипидная эмульсия; 12 – фосфолипидный концентрат; 13 – парогазофосфолипидная смесь; 14 – фосфолипидная фракция; 15 – парогазовая фракция; 16 – пар низкого давления; 17 – конденсат; 18 – нагретая вода; 19 – отработанная вода; 20 – фреон газообразный; 21 – фреон жидкий; 22 – отработанный воздух; 23 – конденсат

температуру (ТТ) греющей воды для нагрева влажной исходной фосфолипидной эмульсии и готового фосфолипидного концентрата;

величину разрежения (РТ) в ротационно-плёночном аппарате;

расход (FT) влажной исходной фосфолипидной эмульсии и готового фосфолипидного концентрата;

расход пара, подаваемого в греющую рубашку ротационно-плёночного аппарата;

уровень (LT) фосфолипидной эмульсии и фосфолипидного концентрата в ёмкостях подогрева;

начальную и конечную влажность (МТ) продукта.

По температуре и расходу смеси влажной исходной фосфолипидной эмульсии с жидкой фосфолипидной фракцией устанавливают расход и температуру нагретой воды, подаваемой в ёмкости для подогрева влажной исходной фосфолипидной эмульсии и обезвоженного фосфолипидного концентрата.

Регулирование значений температур – исходной влажной фосфолипидной эмульсии в ёмкости 2, исходной влажной фосфолипидной эмульсии в ротационно-плёночном аппарате 1, готового фосфолипидного концентрата в ёмкости 3, нагретой воды в конденсаторе 6 – осуществляется следующим образом: сигналы от датчиков принимаются модулем аналоговых входов контроллера и после преобразования в цифровой код сравниваются с заданным значением каждого технологического параметра оператором с графической панели. Процессор в соответствии с заложенной программой выдаёт сигнал управления по одному из линейных законов регулирования через модуль аналоговых выходов контроллера (ЦАП). Сигналы управления воспринимаются регулирующими клапанами, стоящими на линиях подачи: нагретой воды 18 от конденсатора холодильника для подогрева продукта в ёмкостях 2 и 3, пара низкого давления 16 от парогенератора; жидкого фреона 21 от змеевика конденсатора холодильника.

Значения разрежения в ротационно-плёночном аппарате 1, расхода исходной влажной фосфолипидной эмульсии, расхода готового фосфолипидного концентрата и расхода парогазофосфолипидной смеси измеряются датчиками. Полученные сигналы принимаются модулем аналоговых входов контроллера и после преобразования отображаются на дисплее графической панели оператора.

Регулирование уровня исходной влажной фосфолипидной эмульсии в ёмкости 2 и готового фосфолипидного концентрата в ёмкости 3 осуществляется следующим образом: сигналы от датчиков принимаются модулем аналоговых вхо-

дов контроллера и после преобразования в цифровой код сравниваются с заданным значением каждого технологического параметра оператором с графической панели. Процессор в соответствии с заложенной программой выдаёт сигнал управления по одному из линейных законов регулирования через модуль аналоговых выходов контроллера (ЦАП). Сигналы управления воспринимаются исполнительными механизмами, стоящими на линии подачи исходной влажной фосфолипидной эмульсии в ёмкость 2, и на линии готового фосфолипидного концентрата ёмкости 3.

Значения уровня фосфолипидной фракции в фильтре 4, влажности исходной влажной фосфолипидной эмульсии, влажности готового фосфолипидного концентрата измеряются датчиками. Полученные сигналы принимаются модулем аналоговых входов контроллера и после преобразования отображаются на дисплее графической панели оператора.

Управление приводами насосов 8, 9, 10, а также двигателем ротационно-плёночного аппарата осуществляется одним из следующих способов: сигнал пуска/останова от графической панели оператора поступает на магнитный пускател, проходя через универсальный переключатель электрических цепей, либо при изменении положения переключателя кнопками сигнал пуска/останова поступает на магнитный пускател непосредственно от кнопки. Температуру нагретой воды регулируют в конденсаторе холодильной машины за счёт изменения теплоты конденсации хладагента в конденсаторе путём рекуперативного теплообмена между хладагентом и греющей водой. Температуру в рабочем объёме ротационно-плёночного аппарата стабилизируют за счёт регулирования температуры пара в греющей рубашке путём подачи пара от парогенератора. При этом контролируется расход парогазофосфолипидной смеси из ротационно-плёночного аппарата.

Графическая панель оператора предназначена для ввода оператором заданных значений технологических параметров, отображения текущих значений параметров процесса, пуска и останова двигателей насосов.

Регулирование процесса удаления влаги из фосфолипидной эмульсии в ротационно-плёночном аппарате осуществляют следующим образом: исходная, предварительно подогретая в теплообменнике 2 фосфолипидная эмульсия, поступает во внутреннее пространство корпуса ротационно-плёночного аппарата 1, где попадает на лопасти вращающегося ротора, и под действием центробежных сил наносится на внутреннюю поверхность корпуса ротационно-плёночного аппарата, обогреваемого через греющую рубашку паром, подаваемым от парогенератора.

Одновременно измеряют расход влажной исходной фосфолипидной эмульсии и уровень жидкой фосфолипидной фракции в фильтре 4, уровень и температуру фосфолипидной эмульсии и фосфолипидного концентрата в ёмкостях подогрева 2, 3; температуру нагретой воды для нагрева влажной исходной фосфолипидной эмульсии и готового фосфолипидного концентрата, давление и температуру в аппарате. Расход пара, подаваемого в греющую рубашку ротационно-плёночного аппарата, регулируется с помощью вентиля, температура в ёмкостях подогрева регулируется с помощью вентиляй.

Привод вала ротационно-плёночного аппарата осуществляется с помощью электродвигателя *M1*. Разрежение в аппарате создаётся при помощи вакуум-насоса 9, который приводится в движение с помощью электродвигателя *M4*.

Обрабатываемая влажная фосфолипидная эмульсия в виде тонкой плёнки поступательно перемещается вместе с выпаренными из неё парами влаги вдоль корпуса ротационно-плёночного аппарата и выводится из него в ёмкость 3, в которой поддерживается необходимая для обеспечения реологических свойств фосфолипидной эмульсий температура, значение которой измеряется датчиком. После заполнения теплообменника обезвоженный фосфолипидный концентрат, уровень которого измеряется датчиком, направляется через вентиль на розлив.

Своевременное удаление из фильтра фосфолипидной фракции при превышении предельно допустимого уровня осуществляется с помощью насоса 10, который приводится в действие электродвигателем *M3*.

Предварительный подогрев влажной исходной фосфолипидной эмульсии и обезвоженного фосфолипидного концентрата в ёмкостях 2 и 3 до требуемой температуры осуществляется нагретой водой из конденсатора холодильной машины. Температура нагретой воды измеряется с помощью датчика и регулируется в конденсаторе холодильной машины за счёт изменения теплоты конденсации хладагента в конденсаторе путём рекуперативного теплообмена между хладагентом и нагретой водой.

Парогазовая фракция, прошедшая через фильтр, попадает в испаритель холодильной машины, где из неё конденсируется жидкая водяная фаза (конденсат) 23 на поверхности змеевика, охлаждаемого в результате кипения хладагента в змеевике. Отработанный воздух и неконденсирующиеся газы 22 при этом выводятся вакуум-насосом 9 в атмосферу. Количество хладагента, впрыскиваемого в испаритель холодильника 7, обеспечивается терморегулирующим вентилем.

После конденсатора с помощью исполнительного устройства через вентиль одну часть промежуточного теплоносителя (нагретая вода) 18 направляют для подогрева подаваемой в ротационно-плёночный аппарат исходной фосфолипидной эмульсии, а другую часть промежуточного теплоносителя (нагретая вода) 18 с помощью исполнительного устройства подают для подогрева в ёмкость, удалаемого из аппарата полученного концентрата готовой фосфолипидной эмульсии. Отработанная вода 19 после ёмкостей 2, 3 подается в конденсатор 6 с помощью насоса 8.

Предлагаемая система автоматического регулирования процесса удаления влаги из фосфолипидной эмульсии подсолнечного масла в ротационно-плёночном аппарате позволяет:

повысить качество готового продукта за счёт стабилизации температуры и давления обрабатываемого продукта в вакуум-выпарном ротационно-плёночном аппарате;

обеспечить высокую точность регулирования параметров удаления влаги из фосфолипидной эмульсии подсолнечных масел, что ведёт к повышению энергетической эффективности работы нового ротационно-плёночного аппарата.

Библиографические ссылки

1. Марченюк А.С. Плёночные тепло- и массообменные аппараты в пищевой промышленности. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. 160 с.
2. Патент РФ № 2010109663/05, 15.03.2010. Алтайулы С., Антипов С.Т., Шахов С.В.; Конический ротационно-пленоочный аппарат. Патент России № 242040, 2011. Бюл. № 26.

Вниманию авторов!

Требования к оформлению статей, присыпаемых для публикации,
можно найти на сайте www.mashin.ru

УДК 553.98.048

В.К. Шемелин, канд. техн. наук, проф. (МГТУ «Станкин», Москва),
А.В. Филиппенков (ООО «Газпром трансгаз», Москва)

975312004@mail.ru

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ТЕКУЩИХ ПАРАМЕТРОВ ДИСПЕТЧЕРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ГАЗОТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Рассмотрены методы анализа диспетчерско-технологической информации. Предложены методы повышения достоверности получаемых данных по текущим параметрам газотранспортной системы.

Ключевые слова: достоверность, автоматизация, газопровод, диспетчер.

Analysis methods of the dispatching-technological information are considered. Growth trustworthiness methods of the received data according to current parameters of the gas-transport system are proposed.

Key words: trustworthiness, automation, gas pipeline, dispatcher.

Получение достоверной информации по текущим параметрам газотранспортной системы (ГТС) является одной из основных задач диспетчерского управления. В настоящее время для определения достоверности диспетчерско-технологической информации ГТС используются два метода.

Метод установок. Для каждого собираемого параметра Π устанавливаются его максимальное Π_{\max} и минимальное Π_{\min} значения, при этом автоматизированная система диспетчерского управления (АСДУ) отслеживает случаи выхода значения параметра за границы установленного интервала:

$$\Pi_{\min} < \Pi < \Pi_{\max}.$$

Опыт диспетчера. Данный метод основывается на опыте диспетчера, который, просматривая сводку диспетчерско-технологической информации, может выявить недостоверные данные.

Описанные методы не в полном объёме позволяют определить достоверность собираемой информации. Для диспетчерских систем с высокой дискретностью сбора данных (≤ 10 мин) [1] предлагаются расширить количество применяемых методов. Рассмотрим их на примере сбора диспетчерско-технологической информации по объектам газотранспортной системы (рис. 1).

Для повышения степени достоверности получаемых диспетчером данных по текущим па-

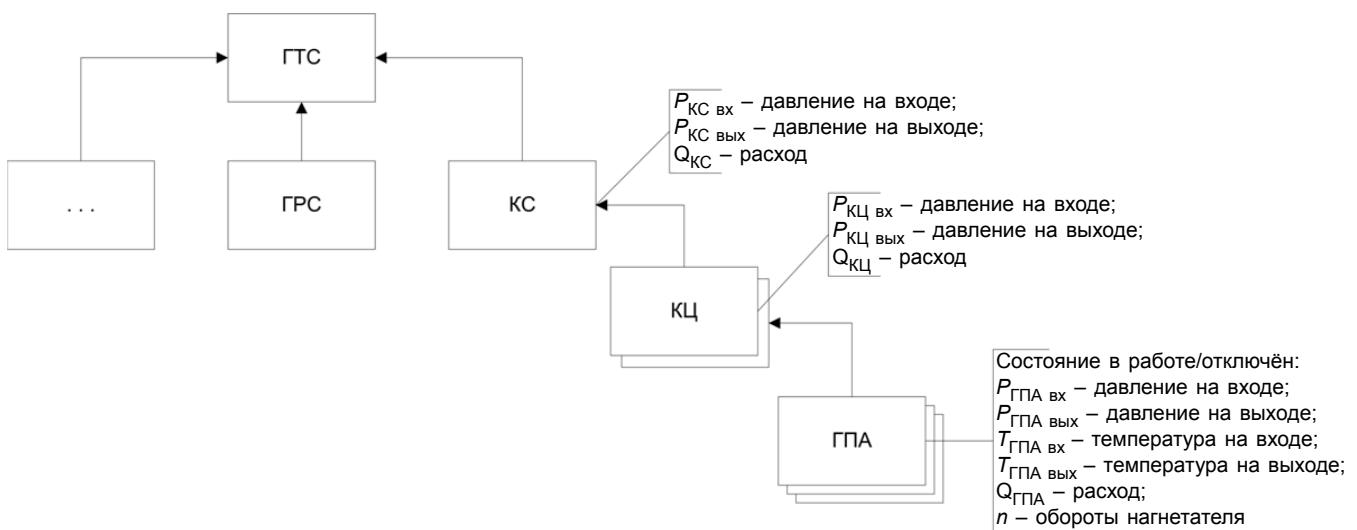


Рис. 1. Структура газотранспортной системы:

ГТС – газотранспортная система; ГРС – газораспределительная станция; КС – компрессорная станция; КЦ – компрессорный цех; ГПА – газоперекачивающий агрегат

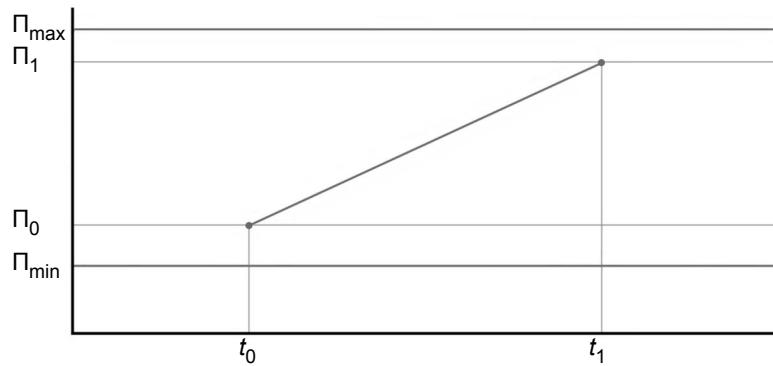


Рис. 2. Изменение параметра

метрам функционирования ГТС предлагается использовать метод, позволяющий анализировать скорость изменения параметров. Данный метод предназначен для отслеживания ситуаций, когда за небольшой промежуток времени $\Delta t = t_1 - t_0$ значение параметра Π изменилось на значительную величину $\Delta \Pi = \Pi_1 - \Pi_0$ и при этом не вышло за границы уставок $\Pi_{\min} < \Pi < \Pi_{\max}$ (рис. 2).

Для определения достоверности изменения параметра необходимо определить допустимую величину Y , в пределах которой изменение параметра будет считаться достоверным. Зададим зависимость текущего изменения параметра $\Pi_{\text{изм}}$ с допустимым изменением:

$$\Pi_{\text{изм}} = \frac{|\Pi_1 - \Pi_0|}{\Pi_0} < Y. \quad (1)$$

Данный метод направлен на фиксацию резкого изменения параметров системы с целью повышения внимания диспетчера. Метод позволяет предупредить возможные выходы значения параметра за границы уставок, а не фиксировать их по факту, что в свою очередь влияет на повышение безопасности ГТС.

Помимо метода уставок и метода, основывающегося на анализе скорости изменения параметров, и с учётом анализа отдельно взятых параметров предлагается ввести метод, позволяющий анализировать группы параметров $\{\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_n\}$. Под группой параметров будем понимать входные и выходные параметры отдельно взятых объектов ГТС, например ГПА (см. рис. 1).

Поскольку параметры объекта взаимосвязаны, то изменение одного из них повлечёт за собой изменение остальных. На основе этого предлагается ввести метод, анализирующий поведение группы параметров на предмет их текущего изменения. Первый предложенный алгоритм заключается в том, что текущее изменение параметров должно находиться в определённом интервале,

при выходе из которого АСДУ будет сигнализировать о необходимости проверки данных:

$$\Pi_{\text{ср}} - C < \{\Pi_{\text{изм} 1}, \Pi_{\text{изм} 2}, \dots, \Pi_{\text{изм} n}\} < \Pi_{\text{ср}} + C, \quad (2)$$

где $\Pi_{\text{ср}}$ – среднее текущее изменение группы параметров, $\Pi_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n \Pi_i$; C – допустимое отклонение.

Второй алгоритм анализа поведения группы параметров заключается в сравнении текущего изменения параметров по принципу «каждый с каждым»:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Pi_{\text{изм} a} = \Pi_{\text{изм} b} \pm C; \\ a \in [1; N-1]; \\ b \in [a+1; N]; \\ N \geq 2, \end{array} \right.$$

где $\Pi_{\text{изм} a}$, $\Pi_{\text{изм} b}$ – текущие изменения параметров (1); a , b – номера параметра в группе; N – число параметров в группе.

Описанный метод анализа поведения группы параметров на предмет их текущего изменения можно применить для анализа групп объектов ГТС $\{\Pi_{\text{ср} 1}, \Pi_{\text{ср} 2}, \dots, \Pi_{\text{ср} n}\}$, например для объектов ГПА одного из компрессорных цехов (см. рис. 1). В данном случае формула (2) будет выглядеть следующим образом:

$$O_{\text{ср}} - C < \{\Pi_{\text{ср} 1}, \Pi_{\text{ср} 2}, \dots, \Pi_{\text{ср} n}\} < O_{\text{ср}} + C,$$

где $\Pi_{\text{ср} 1}, \Pi_{\text{ср} 2}, \dots, \Pi_{\text{ср} n}$ – среднее текущее изменение группы параметров объекта (3); $O_{\text{ср}}$ – среднее текущее изменение группы объектов, $O_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n \Pi_{\text{ср} i}$.

Метод, анализирующий поведение группы объектов, предназначен для выявления недостоверных данных, что значительно сокращает время обработки диспетчерско-технологической информации.

Математическое моделирование. Частичное исключение влияния субъективного фактора (человека-диспетчера) анализа текущих параметров ГТС является актуальной задачей.

Рассмотрим метод снижения субъективного фактора при анализе текущих параметров ГТС на основе аппарата математического моделирования.

Опишем математическое моделирование на примере газового компрессора, имеющего набор параметров $\{P_{\text{вх}}, T_{\text{вх}}, P_{\text{вых}}, T_{\text{вых}}, n\}$, где $P_{\text{вх}}, P_{\text{вых}}$ – давление газа на входе и выходе соответственно; $T_{\text{вх}}, T_{\text{вых}}$ – температура газа на входе и выходе соответственно.

Для построения математической модели используем расчётные показатели газового компрессора [2]:

при $n > 0$

$$m_t = \frac{\ln\left(\frac{T_{\text{вых}} + 273}{T_{\text{вх}} + 273}\right)}{\ln\left(\frac{P_{\text{вых}} + 1}{P_{\text{вх}} + 1}\right)}, \quad (4)$$

где m_t – температурный коэффициент политропы, $m_t \approx 0,3$; при $n = 0$ группа параметров не проверяется; при $n < 0$ значение параметра n недостоверно.

Уравнение (4) описывает зависимость группы параметров между собой и позволяет провести проверку на момент времени t_1 .

Составим математическую модель, позволяющую проверить достоверность изменения группы параметров с момента времени t_0 $\{P_{\text{вх}}^0, T_{\text{вх}}^0, P_{\text{вых}}^0, T_{\text{вых}}^0, n^0\}$ на момент времени t_1 $\{P_{\text{вх}}^1, T_{\text{вх}}^1, P_{\text{вых}}^1, T_{\text{вых}}^1, n^0\}$.

Опишем зависимость группы параметров через напор [2]:

$$H \approx C \frac{(T_{\text{вх}} + 273)}{m_t} \left(\frac{(P_{\text{вых}} + 1)^{m_t}}{P_{\text{вх}} + 1} - 1 \right),$$

где m_t – температурный коэффициент политропы (4); C – константа.

Известно, что $H \sim n^2$, с учётом моментов времени получим

$$\frac{H^0}{(n^0)^2} \approx \frac{H^1}{(n^1)^2},$$

следовательно,

$$\frac{\frac{H^1}{(n^1)^2} - \frac{H^0}{(n^0)^2}}{\frac{H^0}{(n^0)^2}} \cdot 100\% < y,$$

где y – коэффициент, уточняемый опытным путём.

Математическое моделирование позволяет исключить влияние субъективного фактора (человека-диспетчера). Диспетчер перестаёт выполнять аналитическую функцию поиска недостоверных данных, осуществляет контроль и принимает решение в случае возникновения таких данных.

Выводы. В результате анализа существующих методов повышения достоверности диспетчерско-технологической информации установлено, что они не в полном объёме позволяют определить достоверность собираемой информации и не могут применяться в системах с высокой дискретностью сбора данных. Предложенные методы значительно повышают объём обрабатываемой информации, что, в свою очередь, делает возможным их применение в системах с высокой дискретностью сбора данных.

Библиографические ссылки

1. Филиппенков А.В., Шемелин В.К. Функциональное развитие комплекса оперативных задач автоматизированной системы диспетчерского управления на основе повышения достоверности диспетчерско-технологической информации с целью модернизации действующей структуры // М: Изд-во «Молодой учёный», 2011. № 11. Т. 1. С. 64–66.

2. Методические указания по проведению теплотехнических и газодинамических расчётов при испытаниях газотурбинных газоперекачивающих агрегатов / В.А. Шуровский, Ю.Н. Синицын, В.И. Корнеев и др. М.: ВНИИГАЗ, 1985. 26 с.



УДК 519.711.3

В.К. Иванов, канд. техн. наук, доц. (Марийский государственный технический университет, г. Йошкар-Ола)

ivladko1@rambler.ru

ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТЯМИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Рассмотрена задача моделирования и основная задача управления возможностями предприятия с учётом оборудования и деталей, квалификации специалистов, а также заданного технологического процесса. Поставлена и решена задача выбора рациональных параметров производственной системы.

Ключевые слова: моделирование, основная задача управления, технологические и эксплуатационные требования, технические условия, критерии качества, оптимизация, рациональные параметры.

The modeling problem and the fundamental task of the enterprise facilities management by taking into account the equipment and details, expert's qualification and the specified technological process is considered. The choice problem of the production system rational parameters is raised and solved.

Key words: modeling, fundamental management task, technological and operational objective, technological conditions, quality criteria, optimization, rational parameters.

Введение. В связи с переходом страны к рыночным отношениям проблема проектирования и создания производственных систем становится всё более и более актуальной. Рынок требует гибкости производства, т. е. способности системы к быстрой переналадке и переподготовке производства, модификации или замены продукции.

С этой целью разработана интегрированная система, в которой реализованы методы и алгоритмы, позволяющие решать задачи моделирования, аналитического проектирования и оптимизации параметров подсистем производственной системы, проводить оценку возможностей предприятия выпускать заданную продукцию, определять стоимость этой продукции и резервы производства.

Решение этих задач возможно только путём математического моделирования и автоматизации проектирования (управления) применительно к производственным процессам, протекающим при работе подсистем производственной системы (технологического оборудования, участка, цеха, предприятия).

Основная часть. Для решения задач моделирования и управления (аналитического проектирования) разработана интегрированная система, которая состоит из трёх подсистем.

В первой подсистеме [1] на основе функциональной схемы системы управления станка с чи-

словым программным управлением составляется структурная схема с указанием передаточных функций входящих элементов. Затем описывается топология структурной схемы на входном языке, вводятся коэффициенты (параметры) этих элементов. На основе результирующей передаточной функции замкнутой системы определяется устойчивость системы и показатели качества в динамическом режиме. После задания ограничений типа неравенств на управляемые переменные и критерии качества (показатели переходного процесса) решается задача аналитического проектирования и оптимизации.

Во второй подсистеме [2] процесс моделирования производственного участка осуществляется в три этапа.

На первом этапе определяется общая производительность основного оборудования при условии, что все остальные элементы участка не являются «узким местом», т. е. не ограничивают загрузку основного оборудования. Если рассчитанное значение производительности не обеспечивает выполнение планового задания, то необходимо внести изменения на состав оборудования и плановое задание.

На втором этапе рассчитывается интенсивность потоков изделий между элементами системы. Эти расчёты являются исходными для определения и анализа характеристик других подсистем.

На третьем этапе определяется загрузка транспортной подсистемы. Входными данными являются: плановое задание и технология; компоновка основного оборудования и складской подсистемы, а также расстояние между ними; коэффициент предельной загрузки основного оборудования и параметры транспортной подсистемы. Таким образом, в результате моделирования определяется загрузка основного оборудования, транспортной подсистемы и общая производительность участка.

Третья подсистема позволяет путём моделирования оценить возможности предприятия по выпуску продукции, а также решить основную задачу управления, исходя из технологических и эксплуатационных требований (ТЭТ) и технических условий.

Одной из основных задач при проектировании и управлении производственной системой является ответ на вопрос, каковы должны быть параметры производственной системы, при которых критерии качества системы удовлетворяют заданным техническим условиям. Задача в такой постановке относится к основной задаче управления (ОЗУ) [3].

Комплекс средств, разработанных как для моделирования, так и для решения ОЗУ, содержит базу данных по видам и типам оборудования, специалистов и деталей. Для работы с системой необходим ввод следующей информации:

стоимость S_k работы оборудования k -го вида;
стоимость S_m работы специалистов m -го вида;

имеющееся число F_k оборудования k -го вида и число L_m специалистов m -го вида, которым располагает предприятие;

необходимое число n_k^p деталей p -го вида, время T_k^p изготовления необходимого числа деталей p -го вида на оборудовании k -го вида, необходимое число n_m^p деталей p -го вида, время T_m^p изготовления необходимого числа деталей p -го вида специалистами m -го вида, время обработки F_k^p детали p -го вида на оборудовании k -го вида и время обработки L_m^p детали p -го вида специалистом m -го вида;

сетевой график технологического процесса.

Результатами моделирования и решения ОЗУ являются:

время T_p и стоимость S_p выпуска деталей каждого вида;

время работы T_F^k и простой оборудования k -го вида, время работы T_L^m и простой специалистов m -го вида;

полное время T и стоимость S выпуска всей партии деталей;

возможный выпуск N_k^p деталей каждого вида на оборудовании k -го вида и выпуск N_m^p деталей каждого вида специалистами m -го вида;

рациональные параметры производственной системы (вектор управления).

Выбор рациональных параметров производственной системы связан с основной задачей управления. Для этого к подсистеме моделирования в контур обратной связи подключён блок оптимизации.

Затем вводятся компоненты вектора управления $\omega = \{S_k, F_k, S_m, L_m, n_k^p, T_k^p, n_m^p, T_m^p\}$, которые выбираются из области, заданной в соответствии с ТЭТ:

$$\begin{aligned} a_{1k} &\leq S_k \leq A_{1k}; \\ a_{2k} &\leq F_k \leq A_{2k}; \\ a_{3m} &\leq S_m \leq A_{3m}; \\ a_{4m} &\leq L_m \leq A_{4m}; \\ a_{5k} &\leq n_k^p \leq A_{5k}; \\ a_{6k} &\leq T_k^p \leq A_{6k}; \\ a_{7m} &\leq n_m^p \leq A_{7m}; \\ a_{8m} &\leq T_m^p \leq A_{8m}, \end{aligned} \quad (1)$$

где $a_{1k}, \dots, a_{8m}, A_{1k}, \dots, A_{8m}$ – заданные постоянные величины.

В качестве критериев качества $I[\omega]$ выбраны: суммарная стоимость S изготовления всей партии деталей, время работы T_F^k оборудования k -го вида и T_L^m специалистов m -го вида, а также числа деталей каждого вида N_k^p и N_m^p , изготавливаемых за заданное время. На них также наложены ограничения, которые представляют собой технические условия:

$$\begin{aligned} 0 &\leq S[\omega] \leq D_1; \\ d_{2k} &\leq T_F^k[\omega] \leq D_{2k}; \\ d_{3m} &\leq T_L^m[\omega] \leq D_{3m}; \\ d_{4k} &\leq N_k^p[\omega] \leq D_{4k}; \\ d_{5m} &\leq N_m^p[\omega] \leq D_{5m}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $d_{2k}, d_{3m}, d_{4k}, d_{5m}, D_1, D_{2k}, D_{3m}, D_{4k}, D_{5m}$ – заданные предельно допустимые значения соответствующих переменных.

Постановка задачи. Среди допустимых значений вектора управляющих параметров (1) необходимо найти такие, при которых результаты решения ОЗУ удовлетворяют заданным техническим условиям (2). Метод решения задачи такого типа заключается в следующем.

Вводятся безразмерные функционалы $\gamma_{\eta}^1[\omega]$ и $\gamma_{\eta}^2[\omega]$, оценивающие удаление значений $I_{\eta}[\omega]$ от своих границ в технических условиях (2) в виде

$$\gamma_{\eta}^1[\omega] = \frac{D_{\eta} - I_3[\omega]}{D_{\eta} - d_{\eta}}, \quad \gamma_{\eta}^2[\omega] = \frac{I_{\eta}[\omega] - d_{\eta}}{D_{\eta} - d_{\eta}},$$

$$\eta = \overline{1, \theta}.$$

Очевидно, что при выполнении технических условий все значения $\gamma_{\eta}[\omega] < 1$, в противном случае, хотя бы одно значение $\gamma_{\eta}[\omega] > 1$. Затем подсчитывается число

$$\Gamma_0 = \min_{\omega} \max_{\eta} \gamma_{\eta}[\omega]$$

и проверяется условие $\Gamma_0 \leq 1$. Если оно выполняется, то основная задача управления имеет решение, и найденные значения компонентов вектора $\omega^* = \{S_k^*, F_k^*, S_m^*, L_m^*, n_k^{p*}, T_k^{p*}, n_m^{p*}, T_m^{p*}\}$ являются рациональными. При необходимости можно решить задачу оптимизации по одному из критериев. Если $\Gamma_0 > 1$, то основная задача управления решения не имеет. В этом случае необходимо изменять ТЭТ или технические условия.

Пример. Рассмотрим технологический процесс изготовления узла, состоящего из шести деталей (рис. 1). Введены множества: K^p – все виды оборудования, необходимого для производства продукции p -го типа; M^p – все виды специальностей, необходимых для выпуска продукции p -го типа; P^p – продукция p -го вида. Тогда $K^p = \{k_1, k_2, k_3\}$, где k_1 соответствует фрезерным станкам типа Ф-1; k_2 – токарным станкам типа Т-1; k_3 – токарным станкам типа Т-2; $M^p = \{m_1, m_2, m_3\}$, m_1 соответствует токарю четвёртого разряда; m_2 – слесарю механосборочных работ; m_3 – слесарю-универсалу; $P^p = \{p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6\}$, p_1 соответствует корпусным деталям типа К-11; p_2 – телам вращения типа ТВ-4; p_3 – телам вращения типа ТВ-3; p_4 – мелким деталям типа ФЛ-1; p_5 – корпусным деталям типа К-3; p_6 – корпусным деталям типа К-1.

Основная задача управления решена при следующих исходных данных:

стоимость работы фрезерного станка типа Ф-1 $S_k^1 = 100$ р/ч; стоимость работы токарного станка типа Т-1 $S_k^2 = 100$ р/ч; стоимость работы токарного станка типа Т-2 $S_k^3 = 100$ р/ч; стоимость работы токаря четвёртого разряда $S_m^1 = 100$ р/ч; стоимость работы слесаря механосборочных работ $S_m^2 = 100$ р/ч; стоимость работы слесаря-универсала $S_m^3 = 200$ р/ч; число фрезерных станков типа Ф-1 $F_1 = 1$ станок; число токарных станков

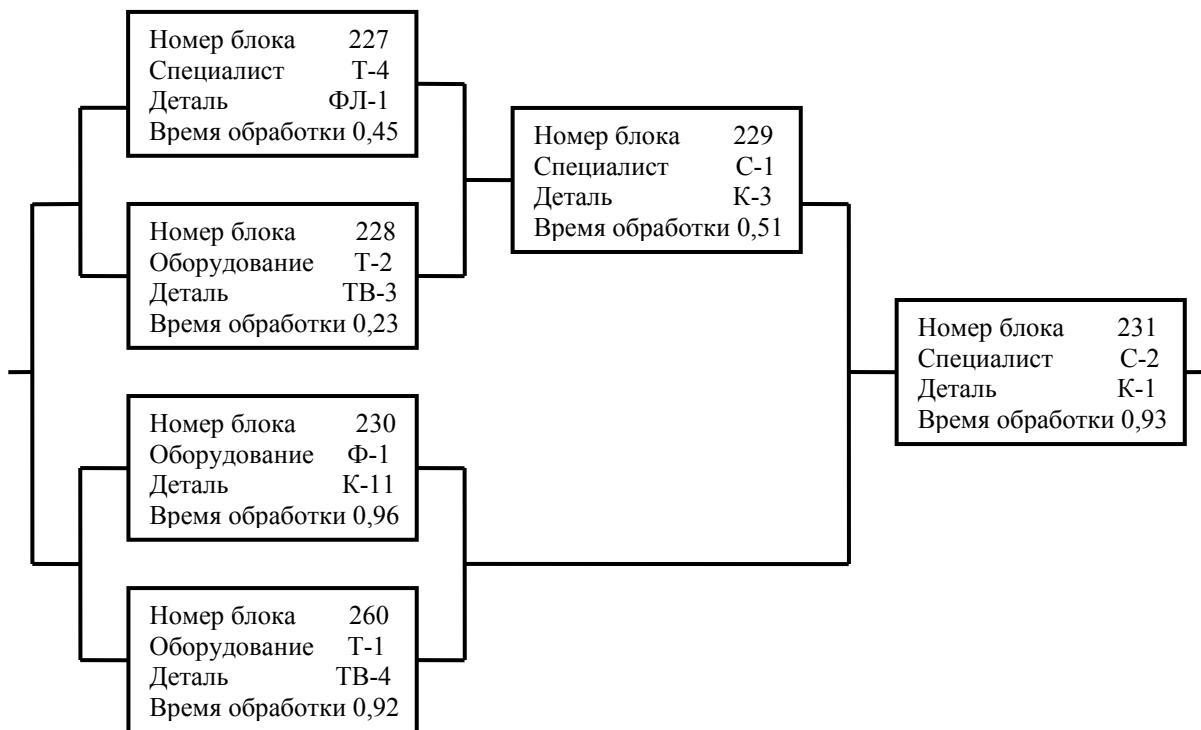


Рис. 1. Технологический процесс изготовления узла, состоящего из шести деталей

типа Т-2 $F_3 = 1$ станок; количество токарей четвёртого разряда $L_1 = 1$ чел.; число слесарей махнособорочных работ $L_2 = 1$ чел.; необходимое число деталей типа К-11 на оборудовании типа Ф-1 и время его изготовления $n_k^1 = 1$ шт., $T_k^1 = 10$ ч соответственно; время изготовления необходимого числа деталей типа ТВ-4 на оборудовании типа Т-1 $T_k^2 = 10$ ч; необходимое число деталей типа ТВ-3 на оборудовании типа Т-2 и время его изготовления $n_k^3 = 1$ шт.; $T_k^3 = 10$ ч; необходимое число деталей типа ФЛ-1 специалистом типа Т-4 и время его изготовления $n_m^1 = 1$ шт.; $T_m^1 = 10$ ч; необходимое число деталей типа К-3 специалистом типа С-1 и время его изготовления $n_m^2 = 1$ шт.; $T_m^2 = 10$ ч; время изготовления необходимого числа деталей типа К-1 специалистами типа С-2 $T_m^3 = 10$ ч.

При составлении технологического процесса указываются:

время обработки деталей типа К-11 на оборудовании типа Ф-1 $F_1^1 = 0,96$ станко-ч/шт, время обработки деталей типа ТВ-4 на оборудовании типа Т-1 $F_2^2 = 0,92$ станко-ч/шт, время обработки деталей типа ТВ-3 на оборудовании типа Т-2 $F_3^3 = 0,23$ станко-ч/шт, время обработки

деталей типа ФЛ-1 специалистом типа Т-4 $L_1^4 = 0,45$ чел.-ч/шт, время обработки деталей типа К-3 специалистом типа С-1 $L_2^5 = 0,51$ чел.-ч/шт, время обработки деталей типа К-1 специалистом типа С-2 $L_3^6 = 0,93$ чел.-ч/шт.

Компоненты вектора управления $\omega = \{F_2, L_3, n_k^2, n_m^6\}$ выбираются из области, заданной в соответствии с ТЭТ:

$$2 \leq F_2 \leq 6;$$

$$2 \leq L_3 \leq 6;$$

$$2 \leq n_k^2 \leq 6;$$

$$2 \leq n_m^6 \leq 6.$$

Технические условия заданы в виде:

$$1 \leq T_{F2} \leq 5;$$

$$1 \leq T_{L3} \leq 5;$$

$$2 \leq N_k^2 \leq 6;$$

$$2 \leq N_m^6 \leq 6.$$

Таблица 1

Результаты решения основной задачи управления (вариант 1)

| F_2 , станок | n_k^2 , шт. | L_3 , чел. | n_m^6 , шт | T_{F2} , ч | T_{L3} , ч | N_k^2 , шт. | N_m^6 , шт. | Γ_0 |
|----------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|------------|
| 4,0 | 4,0 | 5,0 | 3,0 | 1,0 | 0,6 | 10,0 | 16,7 | 3,7 |
| 5,0 | 6,0 | 6,0 | 5,0 | 1,2 | 0,83 | 8,33 | 12,0 | 2,5 |
| 3,0 | 4,0 | 3,0 | 6,0 | 1,33 | 2,0 | 7,5 | 5,0 | 1,38 |
| 3,0 | 5,0 | 4,0 | 6,0 | 1,67 | 1,5 | 6,0 | 6,67 | 1,17 |
| 3,0 | 5,0 | 3,0 | 6,0 | 1,67 | 2,0 | 6,0 | 5,0 | 1,0 |
| 2,0 | 6,0 | 2,0 | 5,0 | 3,0 | 2,5 | 3,33 | 4,0 | 0,67 |
| 2,0 | 5,0 | 2,0 | 5,0 | 2,5 | 2,5 | 4,0 | 4,0 | 0,625 |

Таблица 2

Результаты решения основной задачи управления (вариант 2)

| F_2 , станок | n_k^2 , шт. | L_3 , чел. | n_m^6 , шт | T_{F2} , ч | T_{L3} , ч | N_k^2 , шт. | N_m^6 , шт. | Γ_0 |
|----------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|------------|
| 2,0 | 4,0 | 3,0 | 3,0 | 2,0 | 1,0 | 5,0 | 10,0 | 2,0 |
| 4,0 | 5,0 | 4,0 | 5,0 | 1,25 | 1,25 | 8,0 | 8,0 | 1,5 |
| 3,0 | 4,0 | 3,0 | 5,0 | 1,33 | 1,67 | 7,5 | 6,0 | 1,38 |
| 4,0 | 6,0 | 3,0 | 6,0 | 1,5 | 2,0 | 6,67 | 5,0 | 1,17 |
| 3,0 | 6,0 | 2,0 | 6,0 | 2,0 | 3,0 | 5,0 | 3,33 | 0,75 |
| 2,0 | 6,0 | 2,0 | 5,0 | 3,0 | 2,5 | 3,33 | 4,0 | 0,67 |
| 2,0 | 5,0 | 2,0 | 5,0 | 2,5 | 2,5 | 4,0 | 4,0 | 0,625 |

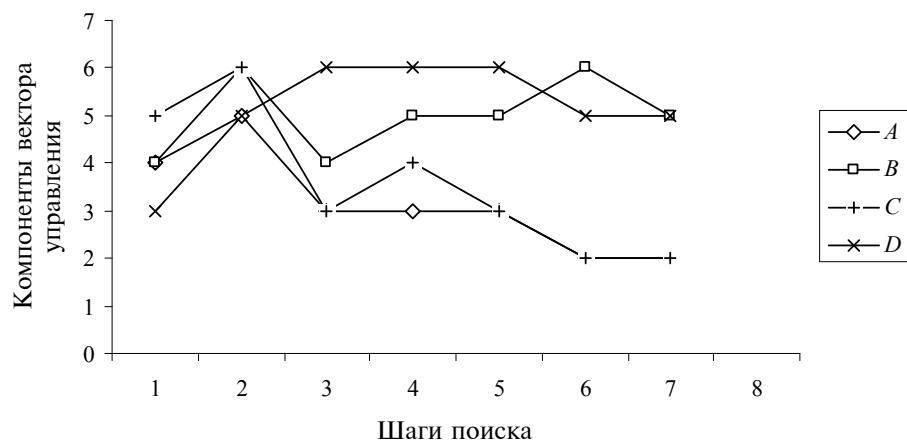


Рис. 2. Зависимость компонентов вектора управления от шагов поиска (вариант 1)

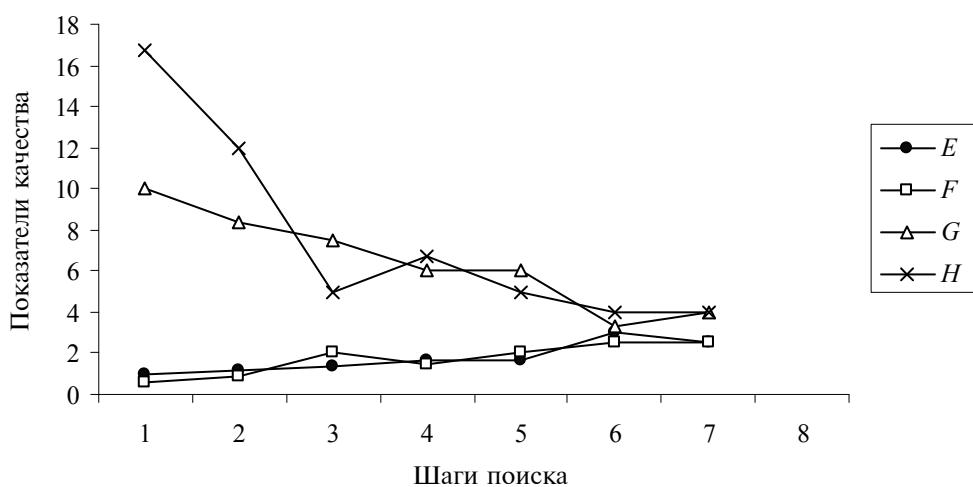


Рис. 3. Зависимость показателей качества от шагов поиска (вариант 1)

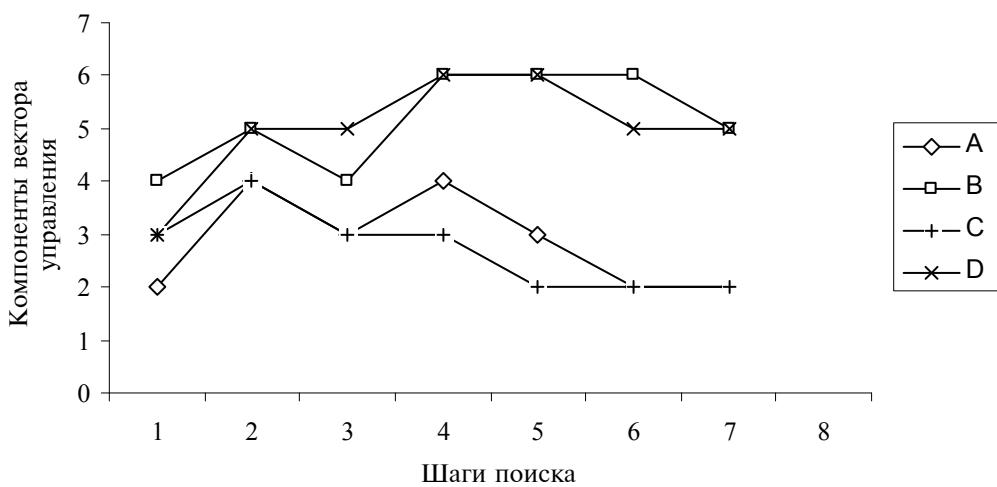


Рис. 4. Зависимость компонентов вектора управления от шагов поиска (вариант 2)

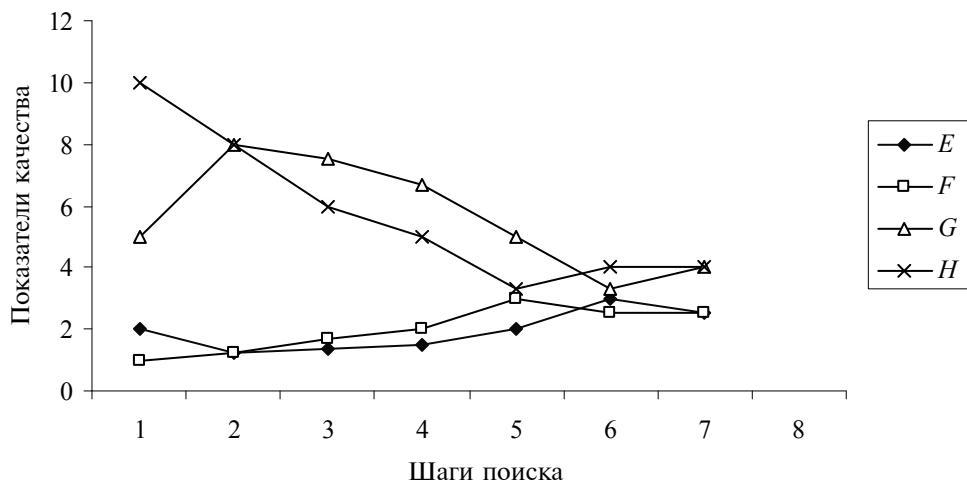
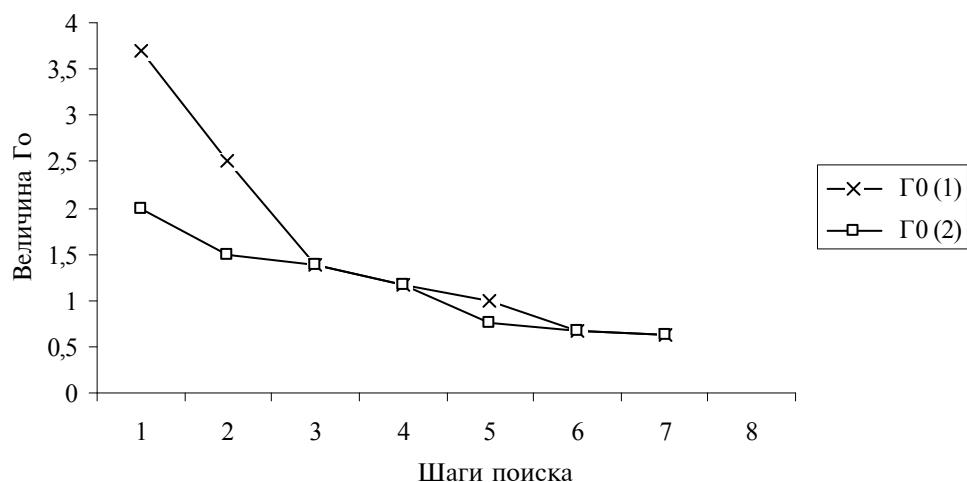


Рис. 5. Зависимость показателей качества от шагов поиска (вариант 2)

Рис. 6. Зависимость величины Γ_0 от шагов поиска (варианты 1 и 2)

Результаты решения задачи для двух вариантов, отличающиеся параметрами метода оптимизации, представлены в табл. 1, 2 и на рис. 2–6.

На графиках А это F_2 , $B - n_k^2$, $C - L_3$, $D - n_m^6$, $E - T_{F2}$, $F - T_{L3}$, $G - N_k^2$, $H - N_m^6$ соответственно.

На рис. 6 $\Gamma_0(1)$, $\Gamma_0(2)$ – числа для вариантов 1 и 2.

Таким образом, рациональные значения параметров производственной системы $F_2^* = 2$ станка, $n_k^{2*} = 5$ шт., $L_3^* = 2$ чел., $n_m^{6*} = 5$ шт.

Заключение. Разработанная система автоматизации позволяет осуществлять моделирование, выбирать рациональные параметры производственной системы (решать основную за-

дачу управления), при которых удовлетворяются заданные технические условия на показатели качества. Получена хорошая сходимость результатов.

Библиографические ссылки

1. Иванов В.К. К задаче аналитического проектирования элементов гибких производственных систем // Вестник КГТУ им. А.Н. Туполева. 2010. № 1. С. 24–26.
2. Иванов В.К. Автоматизация проектирования и управления возможностями предприятия / Обозрение прикладной и промышленной математики. М.: Научное изд-во «ТВП», 2009. Т. 16. Вып. 5. С. 853–854.
3. Сиразетдинов Т.К. Методы решения многокритериальных задач синтеза технических систем. М.: Машиностроение, 1988. 160 с.

УДК 621:004

С.А. Горностаев, канд. техн. наук

(Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана)

sgornostaev@list.ru

ИНТЕГРИРОВАННОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ РЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЯ И УПРАВЛЕНИЕ ЖИЗНЕННЫМ ЦИКЛОМ ИЗДЕЛИЯ (IRPLM): КОНЦЕПЦИЯ, МОДЕЛЬ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Рассмотрен концептуальный подход к решению задачи комплексной автоматизации машиностроительного предприятия в современных условиях, позволяющий осуществлять интегрированное планирование ресурсов предприятия и управление жизненным циклом изделия с помощью эффективной информационной системы соответствующего класса.

Ключевые слова: автоматизация, машиностроение, информационная система, планирование ресурсов предприятия, управление жизненным циклом изделия.

The conceptual approach to the task solution of the machine-building enterprise complex automation in the modern conditions is considered. This approach allows to realize the enterprise resource integrated planning and product life cycle management by means of effective information system of the suitable class.

Key words: automation, machine-building production, informational system, enterprise resource planning, product life cycle management.

В современном мире информация является одним из важнейших ресурсов, обеспечивающих конкурентоспособность и эффективность деятельности организации в стратегической перспективе. При этом понятие «информация» всё в большей степени ассоциируется и даже отождествляется с понятием «данные в электронном виде». Функционирование любой хозяйственной системы немыслимо без применения информационных технологий (ИТ), обеспечивающих работу с такими данными.

В настоящее время информационные потоки неотделимы от потоков материальных и финансовых. Именно информационные потоки инициируют, обеспечивают реализацию и завершают большинство процессов, выполняемых в разных сферах человеческой деятельности. Сложность этих процессов естественным образом определяет потребности той или иной сферы в ИТ (оборудование, телекоммуникационных сетях, базах данных (БД) и программном обеспечении (ПО)). Так как конечным результатом выполнения любого хозяйственного процесса является тот или иной продукт, то именно сложность продукта выходит на первый план в понимании потребностей в информатизации, делая машиностроение одной из наиболее «ИТ-ёмких» отраслей.

Сложность изделий машиностроения выливается в сложность бизнес-процессов, реализуемых для их производства, что в сочетании со значительным разнообразием этих бизнес-процессов

проявляется в необходимости внедрения широкого спектра информационных систем, существенно различающихся по своей архитектуре и функциональности.

Комплексная автоматизация решения управленческих задач в машиностроении в современном понимании началась в 60-х гг. XX в. с алгоритмизации и программирования метода планирования потребностей производства MRP (Material Requirements Planning). С течением времени данный метод эволюционировал до стандарта MRP-II, ставшего методологической основой для появления и развития систем планирования ресурсов предприятия ERP (Enterprise Resource Planning), которые в настоящее время являются основным инструментом управления процессами его хозяйственной деятельности, создавая «климат» для решения бизнес-проблем [1].

Ещё одной ветвью промышленной информатизации, не менее важной для машиностроительной отрасли, стала автоматизация инженерной деятельности, в первую очередь конструкторских работ. Работы по автоматизации, проводимые в данном направлении, начавшись в конце 60-х гг. XX в. с создания первых систем автоматизированного проектирования (САПР), нацелены сейчас на создание и внедрение систем управления данными об изделии PDM (Product Data Management), являющихся основным инструментом управления инженерными данными [2].

В 90-е гг. XX в., основываясь на результатах, достигнутых в сфере применения технологий CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support), ERP-системы эволюционировали в системы синхронизированного с заказчиком планирования ресурсов – CSRP (Customer Synchronized Resource Planning) или ERP-II, а PDM-системы, в свою очередь, в системы управления жизненным циклом (ЖЦ) изделия PLM (Product Lifecycle Management) [3]. Следует заметить, что аббревиатуры CSRP и ERP-II не получили распространения и поддержки ни в научном сообществе, ни среди практикующих специалистов, и для обозначения систем данного класса по-прежнему используется аббревиатура ERP.

К сегодняшнему дню организациями и предприятиями, вовлечёнными в процессы разработки и внедрения ERP и PLM-систем, накоплен значительный теоретический и практический опыт проведения соответствующих работ. Анализ результатов позволяет сформировать реалистичную картину положения дел в данном направлении, показывающую, что современные информационные системы (ИС) и существующие методы их интеграции не реализуют в полной мере комплексный подход к решению задач планирования ресурсов и управления ЖЦ изделия по следующим основным причинам:

ERP – это не стандарт. Большинство производителей ERP-систем имеют собственную интерпретацию термина ERP, часто напрямую зависящую от того, в каких функциональных областях предлагаемые ими системы действительно показывают хорошие результаты внедрения. Последним из общепринятых стандартов в данной сфере является MRP-II, существенно устаревший: функциональность подавляющего большинства ERP-систем не соответствует в полной мере 16-ти стандартным функциям MRP-II;

внедрение так называемых «тяжёлых» ERP-решений (например, SAP ERP, Oracle EBS, Infor ERP и т. п.) неизбежно вызывает необходимость реинжиниринга бизнес-процессов, что крайне редко выполняется с требуемой глубиной реструктуризации. Это происходит из-за естественного сопротивления установившейся корпоративной культуры и опасений работников нарушить действующую бизнес-логику. Недостаточная гибкость ERP-решений является причиной, по которой множество проектов внедрения не доходят до логического завершения, что подтверждается огромным количеством соответствующих заключений компаний сферы ИТ-консалтинга. Лишь 15–20 % проектов внедрения ERP-систем могут быть признаны успешными (завершёнными с положительными функциональными результатами, в срок и в рамках бюджета);

предыдущий тезис может быть без существенных поправок отнесён и к полнофункциональным PLM-решениям (например PTC Windchill, ENOVIA SmarTeam, Siemens PLM Software Teamcenter и т. п.). Традиционная культура проектирования, устоявшиеся маршруты документооборота и сложившиеся схемы потоков работ часто вступают в противоречие с «встроенной» логикой PLM-систем;

до начала проекта внедрения ERP- или PLM-системы практически невозможно установить, достаточными ли окажутся имеющиеся возможности локализации и кастомизации системы для относительно «безболезненного» внедрения. Когда в ходе работ выявляется необходимость внесения изменений на уровне программной платформы, и предприятие вместе с компанией-интегратором обращаются к вендору, становится очевидным, что за прокламациями гибкости системы и её открытости к реализации в ней так называемых «лучших практик» не стоит ничего, кроме стремления максимизировать число продаваемых лицензий;

как уже было отмечено, ERP – это не стандарт. PDM и PLM, в свою очередь, никогда не позиционировались как стандарты. В тот период, когда производители систем обоих упомянутых классов провозгласили обогащение функциональности SRM- и CRM-модулями, демаркация функциональных возможностей систем начала размываться. Разработчики ERP-систем пытаются встроить в них PDM-инструментарий, а разработчики PDM-систем, в свою очередь, ERP-инструментарий, что вызывает естественные вопросы – каковы оригинальные компетенции ERP- и PDM/PLM-систем, какова потребность предприятия в PDM-системе, рождённой внутри ERP-системы и заведомо гетерогенной по отношению к любому CAD/CAE/CAM-пакету, какова потребность предприятия в рождённых в рамках PLM-системы SCM- и CRM-модулях, когда все учётные операции осуществляются в ERP-системе и т. п.;

интеграция ERP- и PLM-систем, как правило, сопряжена с огромным количеством трудностей и подчас практически невозможна. Возникает двойственность, тройственность и множественность повтора данных в справочниках и требуется огромный объём ручной работы по вводу и верификации данных для осуществления такой интеграции.

Учитывая всё сказанное выше, можно сделать вывод: отрасль нуждается в единой концепции, которая сможет выступить общим организационным и функциональным стандартом и обеспечить эффективное внедрение и так называемую «бесшовную» интеграцию ERP- и PLM-систем. Тако-

го рода стандарт станет основой для качественного улучшения взаимодействия и итоговых результатов процессов автоматизации планирования ресурсов и управления ЖЦ изделий, в которые вовлечены машиностроительные предприятия, разработчики программных приложений и компании-интеграторы ИС.

В настоящее время в сфере ИТ существует большое количество концепций, относящихся к описанию различных типов ИС, архитектуре и принципам разработки программных приложений, методологии обработки и обмена данными и т. п. Среди них следует отметить концепции ERP и PLM, сквозного проектирования, «электронного предприятия» и «виртуального предприятия». Рассматривая упомянутые концепции как основополагающие, предлагается объединить их основные положения с помощью единой концепции интегрированного планирования ресурсов предприятия и управления ЖЦ изделия или IRPLM (Integrated Enterprise Resource Planning and Product Lifecycle Management).

IRPLM – это организация информационного менеджмента, основанная на однозначном ассоциировании всех данных об изделии с источниками, агрегировании их в электронном виде и обеспечении беспрепятственного протекания со-

ответствующих информационных потоков по стадиям ЖЦ продукта для реализации комплексного планирования ресурсов предприятия, представленного как совокупность электронных моделей объектов и процессов, синхронизированного с поставщиком и заказчиком с помощью информационной интеграции в рамках кооперационной цепочки.

Концепция IRPLM ориентирована в первую очередь на удовлетворение потребностей в информатизации предприятий машиностроения, но имеет возможности для адаптации и применения при решении задач информационной интеграции предприятиями других секторов промышленности.

Основополагающими принципами концепции являются:

понимание данных о продукте и о предприятии как единого целого и соответствующее управление ими;

полное электронное определение всех данных о продукте (начиная геометрией элементов конструкции и заканчивая эксплуатационной документацией) и всех данных о предприятии (начиная строительным проектом и заканчивая имитационными моделями движений рабочих);

интеграция данных инженерного и учётного контуров управления формированием целостной

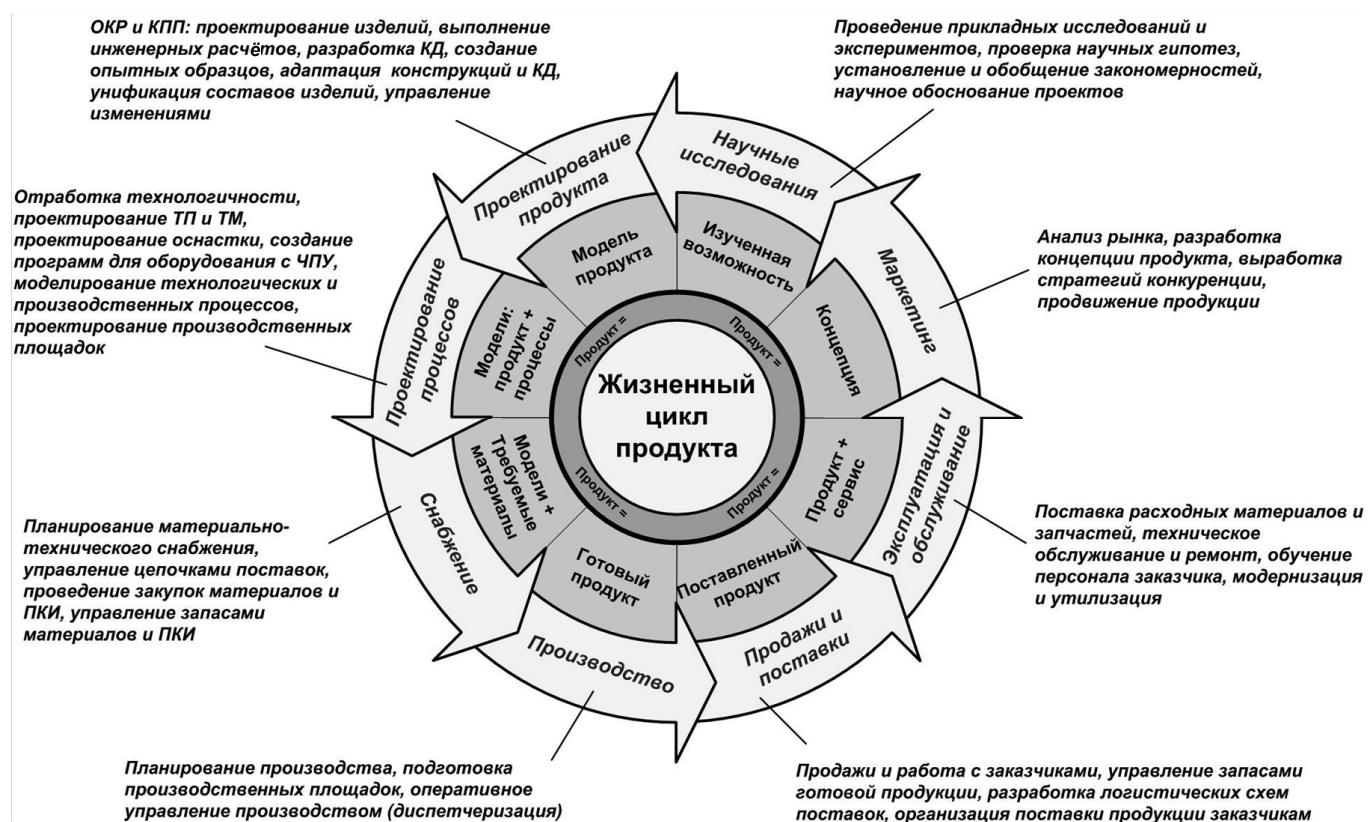


Рис. 1. Стадии жизненного цикла продукта машиностроения

структуры данных, обеспечивающих устранение избыточности информации за счёт создания интегрированной ИС на основе единой БД (в эталонном случае) или же БД, сформированной глубокой интеграцией БД ERP- и PLM-решений (в общем случае);

обеспечение информационной поддержки всех стадий ЖЦ продукта вне зависимости от физической вовлечённости предприятия в процессы воздействия на продукт на той или иной стадии за счёт информационной интеграции.

Реализация концепции IRPLM на практике предполагает создание на предприятиях машиностроения ИС соответствующей функциональности. Для определения класса таких систем (далее IRPLM-систем), основываясь на положениях концепции, разработана модель эталонной IRPLM-системы.

В качестве принципиального подхода к созданию общей модели целесообразно использовать сопоставление стадий ЖЦ изделия с обобщённой организационной структурой машиностроительного предприятия и типами информационных систем, применяемых на данных стадиях и данными подразделениями. Такой подход позволит, с одной стороны, чётко обозначить демаркацию инженерной и учётной сферы (фактически сферы

ERP- и PLM-систем), с другой – выявить направления их интеграции в единую систему.

Процессы (стадии) ЖЦ изделия и эволюция продукта представлены на рис. 1. Стадиям ЖЦ можно сопоставить подразделения гипотетического машиностроительного предприятия, реализующего бизнес-процессы всех стадий ЖЦ, причём ряд подразделений сопоставляется стадиям ЖЦ явно, так как каждое из такого рода подразделений напрямую взаимодействует с создаваемым продуктом. Функциональное предназначение этих подразделений соответствует содержанию процессов ЖЦ (см. рис. 1). Для формирования общей организационной структуры предприятия состав подразделений должен быть дополнен обеспечивающими службами, не осуществляющими непосредственного воздействия на продукт. Обобщённая организационная структура современного машиностроительного предприятия показана на рис. 2.

Последовательность стадий и содержание процессов ЖЦ изделия в целом устоялись и зафиксированы международными и национальными стандартами, но организационная структура предприятия формируется в каждом случае индивидуально, исходя из специфики того или иного предприятия. Кроме традиционных подразделе-



Рис. 2. Подразделения машиностроительного предприятия

ний в организационной структуре целесообразно выделить службу, ответственную как за внедрение на предприятии ИТ, так и за бизнес-моделирование, так как именно эта задача является «границной» при наложении ИТ на предметную область. Службы бизнес-анализа и контроллинга также являются неотъемлемым элементом организационной структуры предприятия в современных условиях, когда развитые средства аналитической обработки данных позволяют обеспечить информационную поддержку принятия решений с высокой степенью оперативности.

Для получения модели интегрированной ИС, соответствующей концепции IRPLM, необходимо сопоставить стадии ЖЦ изделия и типовые подразделения машиностроительного предприятия с классами ИС, решающими соответствующие задачи, взаимодополняющими и не дублирующими друг друга. В таблице описано соответствие подразделений предприятия, изображённых на рис. 2. и типов ИС, применение которых позволит реализовать комплексный информационный менеджмент машиностроительного предприятия.

Из таблицы видно, что можно выделить 23 типа ИС, соответствующих 17-ти подразделениям машиностроительного предприятия (8 из которых соответствуют основным стадиям ЖЦ изделия машиностроения). Таким образом, с помощью данных, представленных в таблице, можно построить общую модель интегрированной системы планирования ресурсов предприятия и управления ЖЦ изделия IRPLM, изображённую на рис. 3.

Для максимально полного отображения всего комплекса ИС на схеме, представленной на рис. 3, отражены платформенные ИС (Platform), а также ИС для взаимодействия специалистов (Collaboration – электронная почта, сервисы конференций, корпоративный портал и т. п.) и прикладные программные средства (Applied tools), используемые либо в общих целях (офисные приложения и т. п.), либо в решении узкоспециализированных локальных задач.

Исходя из положений концепции, IRPLM модель, представленная на рис. 3, отображает также CRM- и SCM- модули ИС поставщика и заказчика, средства информационной интеграции в рамках цепочки поставок (технологии CALS и

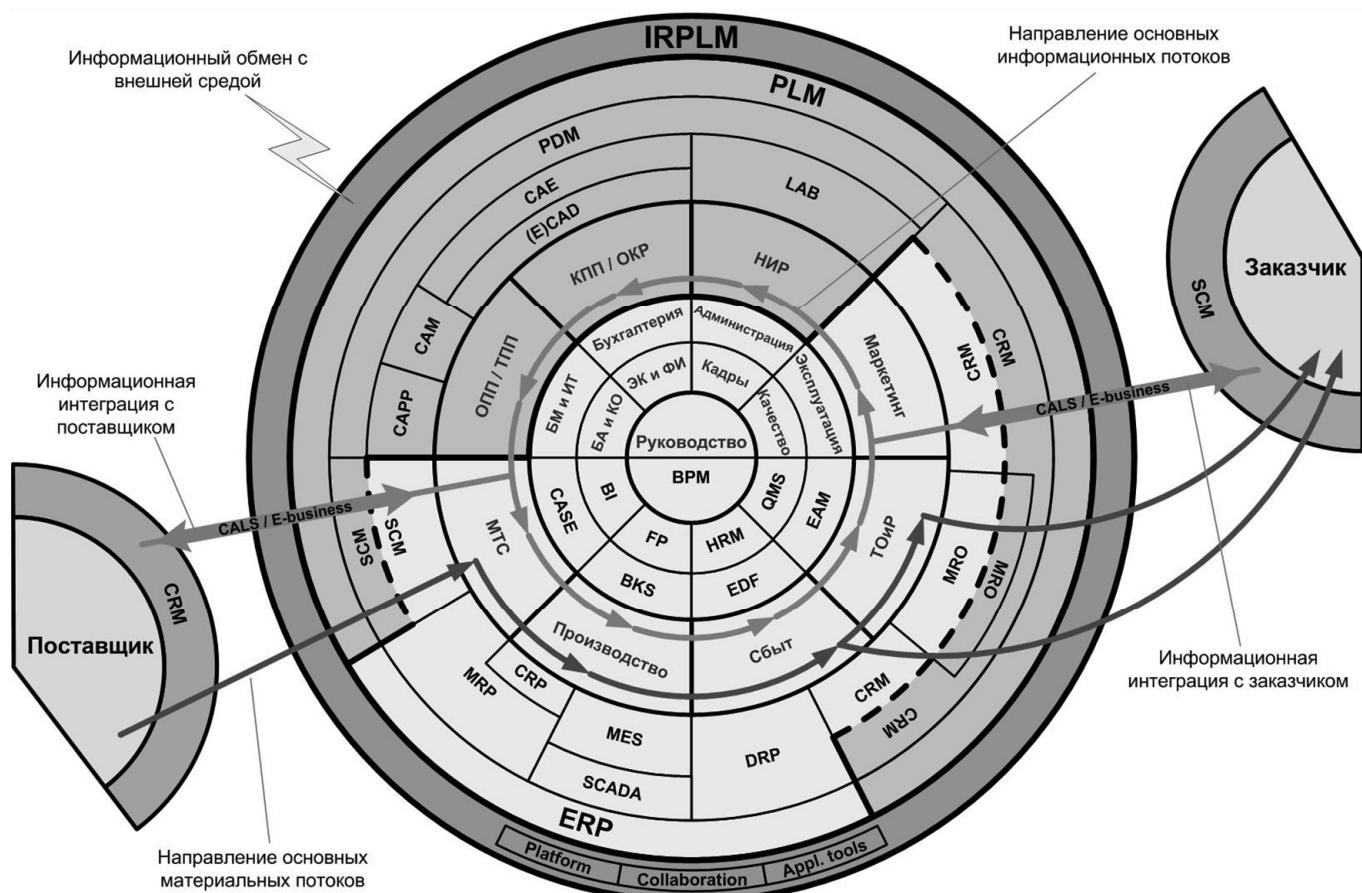


Рис. 3. Модель IRPLM-системы

Подразделения машиностроительного предприятия и типы применяемых ИС

| Подразделения | | | | Типы ИС | | |
|---------------|--|---|----|------------------------------------|---|---|
| № | Наименование | Обозначение ¹ | № | Обозначение | Наименование (англ.) | Назначение |
| 01 | Маркетинговые службы | Маркетинг | 01 | CRM | Customer Relationships Management | Анализ контърнктуры и динамики рынка на основе статистики по заказчикам |
| 02 | Научно-исследовательские подразделения | НИР (научно-исследовательские работы) | 02 | ЛАВ ² | Laboratory Applications | Автоматизация научных исследований |
| 03 | Конструкторские подразделения | ОКР и КПП (опытно-конструкторские работы и конструкторская подготовка производства) | 03 | PDM | Product Data Management | Управление научно-исследовательскими данными и документами |
| 04 | Технологические подразделения | ТПП (технологическая подготовка производства) | 04 | (E)CAD | (Electronic) Computer Aided Design | Проектирование (электронных) изделий |
| 05 | | CAE | 05 | Computer Aided Engineering | Инженерный анализ изделий | |
| 03 | | PDM | 03 | Product Data Management | Управление конструкторскими данными и документами | |
| 04 | | (E)CAD | 04 | (Electronic) Computer Aided Design | Проектирование оснастки; создание моделей оборудования и инструмента; разработка конструкторской документации | |
| 05 | | CAE | 05 | Computer Aided Engineering | Инженерный анализ и моделирование ТП | |
| 03 | | PDM | 03 | Product Data Management | Управление технологическими данными и документами | |
| 06 | | CAM | 06 | Computer Aided Manufacturing | Разработка программ для оборудования с числовым программным управлением и контрольно-измерительных машин; моделирование процессов измерений и обработки | |
| 07 | | CAPP | 07 | Computer Aided Process Planning | Проектирование и моделирование процессов производства, проектирование участков, линий, цехов; разработка технологической документации | |
| 05 | Службы снабжения | МТС (материально-техническое снабжение) | 08 | SCM | Supply Chain Management | Управление снабжением, отношениями с поставщиками и цепочками поставок |
| 09 | | MRP | 09 | Material Requirements Planning | Планирование потребностей в материалах и покупных комплектующих изделиях (ПКИ), формирование заказов на поставку | |
| 10 | Производственные цехи | Производство | 09 | MRP | Material Requirements Planning | Планирование потребностей в материалах и ПКИ: формирование плана внутренних перемещений материалов, ПКИ, деталей и сборочных единиц |
| 10 | | CRP | 10 | Capacity Requirements Planning | Планирование производственных мощностей | |

Окончание таблицы

| Подразделения | | | | Типы ИС | | | |
|---------------|--|---|----|-------------|--|--|--|
| № | Наименование | Обозначение ¹ | № | Обозначение | Наименование (англ.) | Назначение | |
| 07 | Службы сбыта | Сбыт | 11 | SCADA | Supervisory Control and Data Acquisition | Диспетчерское управление и сбор данных с автоматизированных производственных участков, конвейеров, станков-автоматов и т. п. | |
| | | | 12 | MES | Manufacturing Execution System | Оперативное управление производством | |
| 08 | Сервисные службы | ТОиР (техническое обслуживание и ремонт) | 13 | DRP | Distribution Requirements Planning | Управление запасами готовой продукции; планирование и организация сбыта готовой продукции (в том числе, сбытовой логистики) | |
| | | | 01 | CRM | Customer Relationships Management | Ведение заявок на поставку готовой продукции, учет требований заказчиков, реализация ценовой политики по заказчикам и т. п. | |
| 09 | Службы бизнес-анализа и контроля | БА и КО (бизнес-анализ и контроллинг) | 14 | MRO | Maintenance, Repair and Overhaul | Управление процессами технического обслуживания, ремонта, модернизации и утилизации изделий | |
| | | | 01 | CRM | Customer Relationships Management | Ведение заявок на поставку запчастей и оказание услуг по ТОиР, учёт эксплуатационных требований заказчиков | |
| 10 | Службы бизнес-моделирования и ИТ | БМ и ИТ (бизнес-моделирование и ИТ) | 15 | BI | Business Intelligence | Автоматизация бизнес-анализа и контроллинга | |
| | | | 16 | CASE | Computer Aided System Engineering | Моделирование бизнес-процессов, проектирование структуры данных | |
| 11 | Экономические и финансовые подразделения | ЭК и ФИ (экономика и финансы) | 17 | FP | Financial Planning | Автоматизация планово-экономической деятельности, финансового анализа, экономического анализа проектов | |
| | | | 18 | BKS | Automated Bookkeeping System | Бухгалтерский учёт | |
| 12 | Административные службы | Администрация | 19 | EDF | Electronic Document Flow | Электронный документооборот | |
| | | | 20 | HRM | Human Resource Management | Управление персоналом | |
| 14 | Кадровый департамент | Кадры | 21 | QMS | Quality Management System | Технический контроль и автоматизация процедур управления качеством | |
| | | | 22 | EAM | Enterprise Asset Management | Управление имущественным комплексом | |
| 17 | Руководство | Руководство | 23 | BPM | Business Performance Management | Управление результатами деятельности | |

¹ Обозначение вводится для дальнейшего использования на рис. 3.

² LAB – обобщённое обозначение для систем автоматизации научных исследований.

E-Business), информационную взаимосвязь с внешней средой и направления основных материальных информационных потоков.

Определяя общую структуру ИС класса IRPLM, модель формирует основу для установления информационных связей между её подсистемами и получения детализированной модели, на уровне которой может быть разработано формализованное описание каждой подсистемы (модуля) IRLM-системы, включающее перечень автоматизируемых функций, основные классификаторы и справочники системы, а также её информационные взаимосвязи с прочими подсистемами (модулями) IRPLM.

Модель и концепция IRPLM имеют перспективы для применения на машиностроительных предприятиях любого типа (научно-исследовательские институты, конструкторские бюро, научно-производственные объединения или серийные заводы) как для решения задач комплексной автоматизации, так и для внедрения отдельных функциональных систем (модулей) и их интеграции.

Применение модели в компаниях-разработчиках ИС возможно для разработки программных приложений, решающих задачи, связанные с планированием ресурсов предприятия и управлением ЖЦ изделия. При этом наибольшего эффекта от применения модели можно достичнуть при разработке многофункциональных систем и интегрированных пакетов программных продуктов для комплексной автоматизации машиностроительных предприятий.

Осуществление процессов информатизации в соответствии с предложенной концепцией и моделью позволит достичь:

качественного улучшения информационного взаимодействия как между подразделениями

предприятия, так и с поставщиками и заказчиками;

сокращения циклов создания изделий за счёт снижения временных затрат на информационные взаимодействия и устранения информационных разрывов;

сокращения затрат рабочего времени специалистов за счёт устранения избыточности данных и их дополнительной верификации;

снижения уровня брака и неликвидов повышением оперативности реакции на запросы заказчиков и внутренние требования на изменения;

итогового снижения себестоимости продукции сокращением потерь времени работы специалистов и снижением уровня брака.

Статья подготовлена по результатам проведения научно-исследовательского проекта «Разработка модели интегрированной системы планирования ресурсов предприятия и управления жизненным циклом продукции машиностроения» на средства гранта в рамках программы «Михаил Ломоносов II» Министерства образования и науки РФ и Германской службы академических обменов (DAAD).

Библиографические ссылки

1. Monk E.F., Wagner B.J. Concepts in enterprise resource planning. 3. ed. Boston, Mass: Course Technology Cengage Learning, 2009. 254 p.
2. Sääksvuori A. Product lifecycle management. Berlin; Heidelberg: Springer, 2005. 247 p.
3. Горностаев С.А., Меньщиков В.В. Основные направления информатизации концерна оборонно-промышленного комплекса России // Автоматизация и современные технологии. 2008. № 7. С. 37–43.

ИЗДАТЕЛЬСТВО МАШИНОСТРОЕНИЕ

В.В. БЫКОВ, В.П. БЫКОВ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ
В МАШИНОСТРОЕНИИ

В.В. Быков, В.П. Быков
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ
2011 г. 256 с. ISBN 978-5-94275-587-4 **Цена 400 р.**

Представлен программно-методический комплекс для поддержки ранних стадий проектирования в машиностроении. Комплекс показывает возможность автоматизации ранних стадий проектирования; он построен с расчетом на создание гибкого автоматизированного конструкторского бюро (ГАКОБ), способного быстро перенастраиваться на проектирование нового для проектной организации класса технических объектов.

Для специалистов и конструкторов всех отраслей промышленности, полезна студентам и преподавателям вузов.



ВЫСТАВКИ И ПРЕЗЕНТАЦИИ

«ПРОДЭКСПО - 2012»

В центральном выставочном комплексе (ЦВК) «Экспоцентр» в феврале 2012 г. прошла 19-я международная выставка продуктов питания, напитков и сырья для их производства – «Продэкспо-2012». Выставка обладает всеми знаками отличия выставочного сообщества, сертификатами качества Всемирной ассоциации выставочной индустрии (UFI) и Российского союза выставок и ярмарок (РСВЯ). Смотр проводился «Экспоцентром» при содействии Министерства сельского хозяйства РФ и Правительства Москвы, под патронатом Торгово-промышленной палаты РФ. Высокий авторитет выставки подтвержден участием в этом престижном смотре мировых лидеров и ведущих российских производителей, поставщиков, представителей известнейших мировых брендов пищевой индустрии.

Свою продукцию на выставке представили более 2 100 фирм, в том числе более чем 1 500 российских. Помимо российских экспонентов была представлена продукция фирм из Австралии, Австрии, Азербайджана, Аргентины, Армении, Бельгии, Болгарии, Бразилии, Великобритании, Венгрии, Германии, Греции, Дании, Израиля, Индии, Ирана, Ирландии, Исландии, Испании, Италии, Казахстана, Канады, Кипра, КНР, Кыргызстана, Латвии, Литвы, Македонии, Мексики, Молдовы, Нидерландов, ОАЭ, Польши, Португалии, Республики Беларусь, Республики Корея, Румынии, Сербии, Сингапура, Словакии, США, Таиланда, Туниса, Турции, Украины, Уругвая, Финляндии, Франции, Чили, Швейцарии, Шри-Ланки, Эстонии, Южно-Африканской Республики, Японии.

В смотре 2012 г. были задействованы все выставочные площади выставочного комплекса, включая временный павильон «Центральный», общей площа-дью более 102 тыс. м². Выставка располагалась на трёх уровнях, в связи с чем малобюджетные предприятия получили возможность воспользоваться введёнными в строй новыми площадями первого уровня по очень льготным тарифам. Таким образом, малые предприятия разместили свои стенды и приняли участие в крупнейшей восточно-европейской выставке наравне со средним и крупным бизнесом. В течение десяти лет доминирующие позиции на смотре занимают российские компании, составляющие 2/3 всех участников «Продэкспо», несмотря на то, что иностранное участие год от года расширяется и повышается его уровень.

На «Продэкспо-2012» многие зарубежные компании выступили с национальными экспозициями. Впервые в «Продэкспо» приняли участие фирмы Македонии, а после долгого перерыва с национальной экспозицией выступили компании из Чили.

Среди наиболее именитых отечественных производителей можно отметить: «Останкинский мясокомбинат», «Рублёвские колбасы и деликатесы», МПЗ «Се-

тунь», «Рузком», «Павловская слобода», «Сгомонь», «ТАВР», «Невские молокопродукты», «Рязанский завод плавленых сыров», «1-я макаронная компания», «АгроАльянс», «Злак», «Доширак», «Кинг Леон», «Тд Кухня без границ», «Колви», «Шельф-2000», «Часар», «Мириталь», «Миллтаун Фудз», «Иннов-Импекс», Тд БЖНИ, АСТОН, «Гранд Олива», «Органик Фуд», «Ниагара», ПИР Продукт, «Арла Фудс Артис», «Вамин Татарстан», «Челны-Холод», «Тд Поспел», «Морегранд», «Калининградский рыбный комбинат», Рыбокомбинат «За Родину!», «Сухогруз», «Тройной морской дом», «Меридиан», «Главпродукт-торг», «Булгарконсерв», «Астраханкина рыбка», «Русская консервная компания», «Гипар», «Балтимор», «Акмалько», «Ниагара», «Баку Консерв», «Май», «Орими Трейд», «Славкофе», «Авалон», «Хорсъ Кофейный дом», «Яковлевская чаевзвесочная фабрика», «Русская Чайная Компания», «Озёрский сувенир», «Брянконфи», «Невский кондитер», «Мастерфуд», «Кристалл», «Казенка», «Сордис», «Татспиртпром», «Юпитер», «Даймонд трэйд», «Ереванский Коньячный дом», «Лудинг», «Алианта Групп», «Винэкспорт», «Фанагория Тд», «Московский Комбинат Шампанских Вин», «Рисп», «Тд Игристые Вина», «Завод упаковочных изделий ТОКК», «Сен-ГобенКавМинСтекло», «Русская трапеза», «Мерпаса», НПП «Восход», «Пищмашсервис» и т. д. Впервые в рамках выставки был представлен дегустационный стенд «Вина из России», организованный аналитической группой «АЛКОЭКСПЕРТ».

На выставке «Продэкспо-2012» были продемонстрированы все наиболее интересные новинки отрасли и выявлены существующие на мировом рынке продовольствия тенденции.

Важной составляющей выставки «Продэкспо-2012» явилась насыщенная программа мероприятий, которая затронула все сферы продовольственного рынка. Деловая составляющая смотра – это целый комплекс актуальных по тематике конгрессных мероприятий, которые позволили оценить положение дел в отрасли, освоить новые технологии продвижения продуктов питания и напитков, наладить всесторонние связи производителей и ритейлеров.

В рамках выставки 14 февраля прошла конференция «Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 гг. Пути увеличения производства социально значимых продуктов питания». В работе конференции приняли участие руководители предприятий и специалисты отрасли.

В целом, выставка явилась очередным подтверждением неослабевающего международного интереса к российскому продовольственному рынку и его внушительному потенциалу, а также значения самого выставочного форума для российской и мировой пищевой отрасли.