

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМОЙ: ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ И ПЕРЕВОД В ИННОВАЦИОННОЕ СОСТОЯНИЕ

Б. С. Дмитриевский, О. В. Дмитриева

*Кафедра «Информационные процессы и управление», ФГБОУ ВПО «ТГТУ»;
oxana_dmitrieva@bk.ru*

Ключевые слова и фразы: задача управления; инновационное состояние; модель объекта управления; производственная система; пространство состояний, система управления.

Аннотация: Сформулирована задача управления переводом химического предприятия на инновационный путь развития, образующая новый класс задач управления, ранее не описанный. Основная проблема при этом состоит в обеспечении адекватности создаваемой модели объекту управления, так как информация о функционировании производственной системы является недостаточной и размытой. Для изучения объекта и разработки системы управления использован процессный подход. Предложена модель объекта управления и методика построения автоматизированной системы управления на основе функционально-целевого подхода, позволяющего провести структурный синтез системы управления, функции которой обеспечивают решение соответствующих задач управления. Целью автоматизированной системы управления является достижение инновационного состояния и его сохранение в долгосрочном периоде.

Современная экономика требует от предприятия эффективного использования его инновационного потенциала. Правительством Российской Федерации поставлена задача о переводе предприятий на инновационный путь развития. Для ее решения необходима новая постановка задачи управления производственной системой. Управление производственной системой в этих условиях состоит в том, чтобы, во-первых, она стала инновационно-производственной системой, а во вторых, оставалась бы ей достаточно долго.

Многие задачи автоматизированного управления производствами рассмотрены в [1 – 3]. Большая трудность управления сложными производственными системами, а наукоемкое химическое предприятие такой системой и является, состоит в обеспечении адекватности создаваемой модели объекту управления, что требует анализа с применением экспертных оценок.

Одним из таких методов является функционально-целевой подход [4], суть которого сводится к решению задачи через формирование системы целей. Реализация функционально-целевого подхода, базирующегося на концепции управления через целеполагание и предполагающего соответствие функций автоматизированной системы управления целям предметной области, обеспечивает как формальную постановку и решение, так и практическую реализацию задач создания алгоритмов управления.

Разрабатываемая модель относится к классу больших и сложных систем, поэтому проблема декомпозиции глобальной цели (достижение и сохранение инно-

вационного состояния предприятия) и задания необходимых и достаточных с точки зрения глобальной цели отношений модели выходит за пределы формальных постановок задач и требует применения экспертных методов решения. Состав модели определяется путем применения экспертного метода декомпозиции к цели моделирования: инновационный путь развития.

Для исследования объекта и разработки автоматизированной системы управления применим процессный подход, тогда элементом системы является бизнес-процесс. Следующим шагом в развитии модели объекта управления является разработка ее структуры, которая описывает существенные связи между компонентами системы (выделение бизнес-процессов, обеспечивающих инновационность).

Представим объект управления в виде жизненного цикла инновационной химической продукции, включающего в себя систему бизнес-процессов. Выделим в нем процессы с внешней и внутренней средой, НИОКР, опытное и серийное производство [5]. Целью системы является способность производить инновационную продукцию. Для достижения цели необходимо решить задачи управления данными процессами, которые реализуются через функции управления, соответственно, долгосрочным планированием, проектированием, производством. При этом отдельно выделим управление основными функциями менеджмента, объединяющее все функции через управление инновационными процессами.

В таком же виде выбирается и структура автоматизированной системы управления: подсистемы управления долгосрочным планированием, проектированием, производством, основными функциями менеджмента.

Каждому из элементов модели объекта управления соответствует множество атрибутов, объединение которых дает множество атрибутов At модели:

$$At = At_G \cup At_P \cup At_E \cup At_N \cup At_I;$$

где At_G – множество атрибутов глобальной цели (коэффициент инновационности, доля затрат на инновационную деятельность, доля инвестиций на инновации, время реализации инновации – интервал времени между моментами вложения инвестиций и получения дохода от инноваций); At_P – множество атрибутов подсистемы долгосрочного планирования (план производства и сбыта продукции, цена выпускаемой продукции, инвестиции на увеличение запасов ресурсов, прибыль предприятия); At_E – множество атрибутов подсистемы проектирования (конструктивные и технологические параметры машин и аппаратов, аппаратурное оформление химико-технологической схемы, параметры компоновки борудования в производственном помещении); At_N – множество атрибутов производственной подсистемы (параметры управления технологическими процессами); At_I – множество атрибутов подсистемы управления основными функциями менеджмента (параметры управления инновационно-производственной системой, знаниями, персоналом, материальными и финансовыми потоками, результаты инновационной и финансово-хозяйственной деятельности).

Таким образом, в состав модели объекта управления KM входят следующие множества:

$$KM = \{G, P, E, N, I, At\}.$$

Состоянию системы можно дать точную оценку только тогда, когда известна цель ее существования. В данном случае цель – инновационное развитие предприятия, которое определяется объективными факторами. Задача измерения инновационности предприятия напоминает диагностику здоровья человека, то есть необходимо провести анализ множества показателей. Стандартного набора показателей на данный момент времени не существует, однако можно предложить некоторый базовый набор. При этом показатели должны непосредственно или

косвенно характеризовать инновационность предприятия и могут быть измерены или получены расчетным путем или в результате экспертных оценок.

В начальный момент времени предприятие не знает какими параметрами оценивать состояние, как выразить желаемое состояние и что необходимо предпринять. Для управления производством обычно используют технические параметры, а для оценки эффективности работы предприятия – финансовые и организационные. Чтобы оценить уровень инновационности производственной системы необходимо использовать оба класса параметров, причем они должны непосредственно или косвенно характеризовать инновационность и их можно измерить или количественно оценить с помощью экспертов. Примем эти показатели за координаты некоторого пространства X , являющегося пространством состояний, и дополним координатой времени. В таком пространстве конкретное значение инновационности в конкретный момент времени определяется соответствующим вектором, а в динамике будет непрерывная кривая.

Сформулируем задачу управления. Необходимо за время T перевести систему из начального состояния X_n в некоторую точку X_k желаемой области инновационности D , обладающую определенными характеристиками (в том числе химической и экологической природы), а затем сколь угодно долго устойчиво двигаться по той траектории допустимой области, которая удовлетворяет этим характеристикам. Качественная картина задачи управления инновационно-производственной системой (ИПС) представлена на рисунке.

Состояние системы будем описывать набором параметров

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}.$$

Обозначим $X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}\}$ – значения параметров i -го состояния.

При переводе системы из одного состояния в другое изменяются значения параметров. Для оценки перевода введем критерий как функцию параметров каждого состояния системы

$$K = f(X) \Rightarrow K_i = f(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ik}).$$

Значения каждого параметра лежат в определенном диапазоне, который зависит от значений остальных параметров и времени t . Запас ресурсов R зависит от состояния системы и от времени

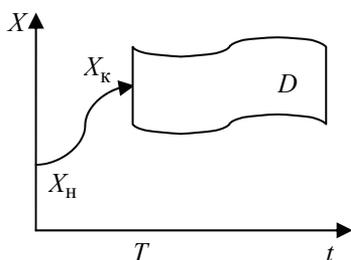
$$R = f(X, t).$$

Будем считать, что перевод из начального состояния X_n в инновационное состояние X_k ограничен по величине приращения критерия перевода и по времени (осуществляется за время $T = T_k - T_1$).

Для перевода системы в инновационное состояние и ее дальнейшего устойчивого движения необходимо, чтобы стратегии перевода из одного состояния в другое согласовывались по времени, осуществлялись с положительными приращениями критерия перевода и удовлетворяли ограничениям на ресурсы:

$$\begin{aligned} T_{\min} &\leq T_k - T_1 \leq T_{\max}; \\ K_{\min} &\leq K_k - K_1 \leq K_{\max}; \\ R_i &\subseteq R, \end{aligned}$$

где T_{\min} , T_{\max} – границы временного интервала перевода; K_{\min} , K_{\max} – границы значений критерия перевода.



Качественная картина задачи управления инновационно-производственной системой

Для решения поставленной задачи следует:

1) выбрать технические и организационные параметры производственной системы, характеризующие ее основные свойства в смысле инновационности, и сформировать область нового (инновационного) состояния производственной системы D (следует отметить, что задать ее априори нельзя и выразить через значения координат не представляется возможным, так как в новом состоянии появляется новое свойство системы – инновационность, отсутствующее у элементов);

2) разработать автоматизированную систему управления, осуществляющую мониторинг текущего состояния, управление переводом производственной системы в новое состояние и поддерживающую это состояние в долгосрочной перспективе. Она должна базироваться на процессном подходе к управлению, позволяющему установить взаимосвязь показателей инновационности с системой координат.

Для эффективного управления ИПС предлагается концепция, включающая принципы **APS** (Advanced Planning & Scheduling – усовершенствованное планирование), **EAM** (Enterprise Asset Management – управление активами предприятия), **MES** (Manufacturing Execution System – система управления производственными процессами) и использующая процессный подход к управлению на основе жизненного цикла продукции как замкнутого процесса производства, включая интеграцию с системами автоматизированного проектирования (автоматизированными системами управления технологическими процессами (**АСУТП**)) в систему поддержки принятия решений.

Для управления ИПС необходимо иметь оперативный план протекания организационно-технологических процессов в режиме реального времени с учетом ограничений, который состоит из нескольких задач.

Задача оперативного планирования неразрывно связана с составлением производственного расписания, учитывающего основные технологические ограничения: графики работы оборудования, отражающие типы оборудования, совместимость оборудования, фазы его запуска; количество выполняемых технологических операций; время переналадки оборудования; периодичность смены номенклатуры выпускаемых изделий; операционную производительность линий; характер взаимосвязи между операциями; время технологических переходов; приоритеты выбора оборудования при планировании; наличие операторов требуемой квалификации и графики их работы.

Задача формирования сбалансированного плана производства рассматривается как описание технологии производственного процесса в виде информационной модели, которая представляет собой описание производственного процесса и технологических линий, операций, маршрутов, рецептов и спецификаций изготовления инновационного изделия.

Задача быстрого расчета плана позволяет предотвратить начало выполнения следующей операции, пока не будет завершена предыдущая, что особенно важно для сложных производств, где используются сотни видов сырья и полуфабрикатов, осуществляются многоступенчатые технологические процессы. При оперативном управлении необходимо видеть в режиме реального времени, где находится тот или иной вид сырья, какие полуфабрикаты будут размещены в данную рабочую смену.

Задача оценки влияния на производственный план технических, коммерческих и социальных отклонений, таких как выход из строя оборудования, задержки с поставками сырья, отсутствие оператора на месте и др. позволяет выполнить последующую корректировку производственного расписания: перенос операции с одного оборудования на другое, приостановку выполнения операции, балансировку загрузки оборудования на участке, смещение выполнения операции во времени, корректировку графика работы оборудования или оператора.

Задача расчета эффективности инноваций позволяет при модернизации производства провести перерасчет производственного плана и показать, как скажется его изменение на производительности ИПС в целом. При этом необходимо

оценить влияние на ключевые показатели производительности факторов расширения технологического парка, снижения времени транспортировки сырья к оборудованию и др.

Как правило, ИПС включает в себя несколько технологических линий, состоящих из совокупности технологических процессов. Технологический процесс изготовления изделия представляет собой группу технологических операций, порядок выполнения которых задается графом выполнения операций. Операции могут выполняться как строго последовательно, так и параллельно для реализации определенных технологических процессов. Одна и та же операция может производиться многими способами на разном оборудовании, при этом для настройки его на выполнение конкретных операций возникает задача управления конфигурацией сложного технологического оборудования, его комплектацией, дислокацией и условиями эксплуатации. При этом необходимо учитывать ситуации, когда оборудование необходимо переналадить для выполнения другой операции, что требует дополнительных материальных и человеческих ресурсов. Для выполнения операции необходимо также решить задачу снабжения материальными ресурсами и организацию их движения между оборудованием.

Для минимизации простоя оборудования необходимо совмещение выполнения технологических процессов одной или нескольких технологических линий параллельно на одном и том же оборудовании, однако при этом усложняется задача планирования, учета, контроля, анализа и регулирования регламентных (планово-предупредительных) ремонтных работ, а также ремонтов по состоянию оборудования, и ведения учета затрат по операциям, произведенным на том или ином оборудовании, то есть к конкретному оборудованию прикрепляются все затраты, операции, произведенные работы и сотрудники, их выполняющие.

Автоматизированная система управления ИПС должна удовлетворять следующим характеристикам:

- управление производством по выбранным критериям;
- сокращение текущих складских запасов путем расчета в реальном времени потребностей в ресурсах для обеспечения заказов и четкой визуализации распределения сырья и материалов по оборудованию в рабочую смену;
- сокращение времени технологического цикла при запуске нового изделия, при этом используется имитационное моделирование производственных планов;
- снижение эксплуатационных издержек за счет диагностики «узких мест» технологического цикла (в плане учитываются специфические особенности оборудования, возможность их взаимозаменяемости, время перемещения полуфабрикатов между оборудованием, связи между оборудованием).

Инструментарий визуализации поможет в любой момент времени проследить: на каком оборудовании в данный момент времени выполняется заказ; оценить производительность по ряду показателей, таких как загрузка, процент отгруженных заказов в соответствии с планом, занятость, время наладки, работы и простоя линии; определить, будет ли заказ выполнен в срок с учетом существующих показателей (например, производительность оборудования). При производстве многокомпонентной продукции сортировка и фильтрация объектов позволяет проследивать исполнение плана по отдельным компонентам заказа.

Автоматизированная система управления ИПС представляет собой целостную платформу для управления подсистемами, обеспечивающими комплексное решение экономических, организационных, технических и математических задач управления, и создается как *многоуровневая система*, обеспечивающая контроль состояния и управление технологическим оборудованием.

Первый (нижний) уровень решает задачи оптимизации технологических процессов. Его образуют периферийные устройства и технологическое оборудование, формирующее первичные данные. Данный уровень обеспечивает автоматическое управление технологическим оборудованием и реализуется системами АСУТП.

Следующие уровни решают задачи оперативной диспетчеризации материальных потоков и задачи предварительного планирования производства.

Второй уровень – контроллеры, принимающие и обрабатывающие информацию, и сеть передачи данных. Данный уровень реализует задачи оперативно-календарного планирования, обеспечение ремонта, контроля состояния и диагностики оборудования, хранение и актуализацию оперативных данных, согласованное управление технологическим оборудованием в реальном времени. Уровень оперативного управления реализуется с помощью MES-систем.

Третий (верхний) уровень – программное обеспечение, представляющее средства визуализации и архивации поступающих данных. Данный уровень планирования и проектирования производства обеспечивает формирование заказа с предварительной оценкой его эффективности, сбыт готовой продукции, конструкторскую и технологическую подготовку производства с необходимыми инженерными расчетами (CAD/CAM/CAE-системы (**CAD** – Computer Aided Design – проектирование с помощью вычислительной машины; **CAM** – Computer Aided Manufacturing – управление производственным процессом с помощью ЭВМ; **CAE** – Computer Aided Engineering – компьютеризованное моделирование)), предварительное календарное планирование производства, хранение и актуализацию данных подсистем верхнего уровня.

В качестве ядра системы оперативного управления ИПС выступает MES-система. Для решения задачи оптимизационного планирования используется APS-система в тесной интеграции с MES-системой. На основе созданного в **ERP** (Enterprise Resource Planning – планирование ресурсов предприятия) объемно-календарного плана производства APS-система формирует оптимизированный по выбранным критериям цеховой план.

Для решения задач отслеживания плановых и учета оперативных ремонтов оборудования используется система EAM. В этом случае при составлении плана производства учитываются связанные с ремонтами и техническим обслуживанием простой оборудования.

Средства визуализации и агрегирования данных предоставляют системы **EMI** (Enterprise Manufacturing Intelligence – интеллектуальная система управления технологическими процессами на производстве), которые позволяют создавать информационную среду, обладающую веб-интерфейсом, обеспечивающим доступ к данным о производственных процессах и ключевым показателям эффективности и помогающую формировать различные виды отчетов о ежедневной деятельности ИПС.

Решения задач оперативного управления ИПС невозможно реализовать в полной мере без системы, обеспечивающей получение фактических данных о проходящих на производстве процессах, их обработки и передачи для анализа в MES-систему. Во избежание низкой оперативности, высокой вероятности случайных и преднамеренных ошибок реализуется интеграция MES-уровня с АСУТП. В этом случае на систему АСУТП возлагается не столько функция управления технологическим процессом, сколько функция регистрации событий, обработки полученной информации, ее хранения и предоставления на верхние уровни информационной структуры в нужном виде.

Таким образом, автоматизированная система управления ИПС должна быть иерархической. Ее структура обеспечивает возможности развития, перенастройки при частичном изменении функций и организации параллельных процессов, а также минимизацию потерь времени при вводимых изменениях. При этом база данных играет важную роль. Вся оперативная информация, проходящая через систему, должна накапливаться для ее дальнейшей обработки и сопоставления с новой информацией, что позволит получать новые знания и выявлять новые тенденции, требующие изучения.

При подключении к базе данных ИПС баз данных других предприятий (поставщиков, покупателей, инвесторов) должны включаться механизмы самонастройки системы, в том числе корректировка направлений деятельности ИПС. Такая программа станет инструментом контроля и управления ИПС со стороны инвесторов, так как позволит им отслеживать необходимые параметры бизнеса. В таком случае для визуализации реальной картины используется сбалансированная система ключевых показателей эффективности, отражающая достигнутые результаты.

Таким образом, в связи с переходом предприятий на инновационный путь развития возник новый класс задач управления, состоящий: 1) в переводе системы из заданной точки X_n в некоторую точку X_k допустимой области D , границы которой расплывчаты и неизвестны, обладающую определенными характеристиками, зависящими от координат; 2) осуществлении устойчивого движения по той траектории допустимой области, которая удовлетворяет данным характеристикам.

Список литературы

1. Попов, Н. С. К методике конструирования экспертной системы оценки промышленной безопасности / Н. С. Попов, Н. В. Лузгачева, Чан Минь Тьинь // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2013. – Т. 19, № 1. – С. 43 – 51.

2. Путин, С. Б. Математическое моделирование процесса регенерации воздуха в замкнутом объеме / С. Б. Путин, Д. Л. Симонова, С. А. Скворцов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2012. – Т. 18, № 4. – С. 953 – 956.

3. Дякин, В. Н. Динамическая модель управления развитием промышленного предприятия / В. Н. Дякин // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 2013. – Т. 19, № 2. – С. 304 – 308.

4. Путилов, В. А. Системная динамика регионального развития / В. А. Путилов, А. В. Горохов. – Мурманск : НИЦ «Пазори», 2002. – 306 с.

5. Дмитриевский, Б. С. Методология построения автоматизированных систем управления инновационными наукоемкими химическими предприятиями : дис. ... д-ра техн. наук : 05.13.06 / Дмитриевский Борис Сергеевич. – Тамбов, 2011. – 315 с.

Automated Control of Production Systems: Model Development and its Translation into Innovative State

B. S. Dmitriyevskiy, O. V. Dmitriyeva

Department "Information Processes and Control", TSTU; oxana_dmitrieva@bk.ru

Key words and phrases: innovative state; management system; management task; model of control object; production system; space of states.

Abstract: The paper deals with the problem of management of a chemical company transition into the innovative way of development. Much attention is given to the development of new ways of management. At present the information about functioning of the production system is not well investigated and insufficient. An attempt is made to provide a company with good quality management model. The process approach is used to investigate and develop the management system. The authors offer an explanation of the modal management object and focus on the methods of creating computerized management system based on the kind of target oriented approach. That helps to make structural synthesis of the management system which functions ensure the solution of management problems of. The purpose of computerized system is to reach innovative state and its functioning in the long-term period.

References

1. Popov N.S., Luzgacheva N.V., Chan Minh Tin, *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2013, vol. 19, no. 1, pp. 43-51.
2. Putin S.B., Simonova D.L., Skvortsov S.A. *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2012, vol. 18, no. 4, pp. 953-956.
3. Dyakin V.N. *Transactions of the Tambov State Technical University*, 2013, vol. 19, no. 2, pp. 304-308.
4. Putilov V.A., Gorokhov A.V. *Sistemnaya dinamika regional'nogo razvitiya* (System dynamics of regional development), Murmansk: NITs "Pazori", 2002, 306 p.
5. Dmitrievskii B.S. *PhD Dissertation (Engineering)*, Tambov, 2011, 315 p.

Automatisierte Steuerung von dem Produktionssystem: der Aufbau des Modells und die Überführung in den innovativen Zustand

Zusammenfassung: Es ist die Aufgabe der Steuerung von der Überführung des chemischen Betriebes auf den innovativen Weg der Entwicklung formuliert, sie bildet die neue früher nicht beschriebene Klasse der Aufgaben der Steuerung. Das Hauptproblem besteht in der Versorgung der Angemessenheit des schaffenden Modells dem Objekt der Steuerung, weil die Informationen über das Funktionieren des Produktionssystems ungenügend und verwischt sind. Für das Erlernen des Objektes und der Entwicklung des Steuersystemes ist das Prozessherangehen verwendet. Es ist das Modell des Objektes der Steuerung und die Methodik des Baues des automatisierten Steuersystemes aufgrund des funktionalzweckbestimmten Herangehens vorgeschlagen, das die strukturelle Synthese des Steuersystemes zu erzeugen erlaubt, deren Funktionen die Lösung der entsprechenden Aufgaben der Steuerung gewährleisten. Das Ziel des automatisierten Steuersystemes ist die Errungenschaft des innovativen Zustandes und seine Erhaltung in der langfristigen Periode.

Gestion automatisée du système industriel: construction du modèle et transposition dans un état d'innovation

Résumé: Est formulée la tâche de la gestion de la transposition de l'entreprise chimique sur une voie du développement d'innovation créant une nouvelle classe des problèmes du management qui n'était pas décrit auparavant. Le problème essentiel reste dans l'assurance d'un modèle adéquat à l'objet du management. Pour l'étude de l'objet et pour l'élaboration du système du management est utilisée une approche complexe. Sont proposés le modèle de l'objet du management et la méthode de construction du système automatisé de la gestion à la base de l'approche fonctionnelle ciblée permettant d'effectuer une synthèse structurelle du système de management dont les fonctions assurent la solution des problèmes correspondants. Le but du système automatisé est l'obtention de l'état d'innovation et son maintien dans une période à long terme.

Авторы: *Дмитриевский Борис Сергеевич* – доктор технических наук, доцент, профессор кафедры «Информационные процессы и управление»; *Дмитриева Оксана Владимировна* – студент, ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Дивин Александр Георгиевич* – доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Управление качеством и сертификация», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».