

МОДЕЛЬ ОБЪЕКТНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

М. Ф. БАЙМУХАМЕДОВ,

доктор технических наук, профессор, проректор по науке,

М. С. АЙМУРЗИНОВ,

кандидат экономических наук, профессор, начальник департамента,

Костанайский социально-технический университет им. З. Алдамжар

(Республика Казахстан, 110010, г. Костанай, ул. Герцена, д. 27; тел.: 8-714-255-46-44; e-mail: pkkst@mail.ru)

Ключевые слова: система управления, объектно-функциональная система, предприятие, автоматизированное управление, бизнес-процессы, объект управления.

Цель исследования – разработка новой методологии управления предприятием, которая названа как объектно-функциональная, рекомендуемая для построения динамических сетевых структур управления, обеспечивающих оптимальное управление производством. Представлена схема объектно-функциональной системы управления (ОФСУ) предприятием. Для формализации взаимосвязей между различными вариантами построения элементов системы используется альтернативно-графовая формализация, в которой различные варианты построения элементов системы задаются в виде вершин альтернативного графа, а дуги отражают характер взаимосвязей между ними. Разработан механизм построения динамической сетевой структуры управления в рамках ОФСУ для выбора рационального управленческого решения из множества допустимых альтернативных вариантов для достижения поставленных целей, исходя из установленных на предприятии критериев выбора. Приводится алгоритм построения сетевых динамических структур управления бизнес-процессами. Система управления предприятием, построенная на основе представления объектов и функций управления, дает возможность реализовать гибкие, быстро перенастраиваемые под требования производства проекты. Преимущества ОФСУ перед традиционными системами управления следующие:

- эффективно функционирует в изменяющихся условиях внешней и внутренней среды;
- позволяет принимать управленческие решения в режиме реального времени согласно разработанному регламенту бизнес-процессов предприятия;
- обеспечивает формализованное распределение прав, обязанностей, ответственности и ресурсов предприятия между ЛПР;
- позволяет бесконфликтно разрешать нетипичные ситуации, вызванные отклонениями от нормального хода бизнес-процессов. Таким образом, ОФСУ является наиболее оптимальной системой управления для построения динамических сетевых структур управления в ходе реализации управленческих решений.

MODEL OF AN OBJECTIVE AND FUNCTIONAL CONTROL SYSTEM FOR AN ENTERPRISE

M. F. BAIMUKHAMEDOV,

doctor of technical sciences, professor, vice-rector for science,

M. S. AIMURZINOV,

candidate of economical sciences, professor, chief of department,

Kostanay Socio-Technical University named after Z. Aldamzhar

(27 Gertsen Str., 110010, Kostanay, Kazakhstan Republic; tel.: +7-142-55-46-44; e-mail: pkkst@mail.ru)

Keywords: control system, objective and functional system, enterprise, automated management, business processes, object of management.

The purpose of this research is to introduce the new methodology of enterprise management called objective and functional, recommended for the creation of dynamic network management structures providing optimum control of production. The article presents the scheme of the objective and functional management system (OFMS) in an enterprise. Alternative and graph formalization (in which various options for creating system elements are presented as peaks on the alternative chart) is used for formalization of interrelations between various options for creation of system elements, and arches reflect nature of interrelations between them. The mechanism of creation of a dynamic network management structure within OFSU is developed for the choice of rational management decision. There is a set of admissible alternative options for achievement of effective objectives, proceeding from the criteria of the choice established at the company. The algorithm of creation of network dynamic management structures is given by business processes. The enterprise management system constructed on a basic representation of objects and management functions gives the chance to implement flexible schemes, quickly readjusted under the requirements of production. OFSU benefits before traditional management systems the following:

- effectively functions in the changing conditions of external and internal environment;
- allows to make management decisions in real time according to developed regulations of business processes of the enterprise;
- provides the formalized distribution of the rights, obligations, responsibility and resources of the enterprise between the decision-makers;
- allows to easily resolve the atypical situations caused by deviations from the normal course of business processes.

Thus, OFSU is the optimum management system for creation of dynamic network management structures during implementation of decisions.

Положительная рецензия предоставлена А. К. Курмановым, доктором технических наук, профессором кафедры информатики Костанайского государственного университета им. А. Байтурсынова.

Цель и методика исследований. Под объектно-функциональной системой управления предприятием будем понимать систему, которая включает в себя информационное моделирование бизнес-процессов, распределение ресурсов и ответственности по центрам принятия решений, формирование регламента взаимодействия лиц, принимающих решения (ЛПР).

Основная масса существующих на предприятиях систем управления основана на функциональном подходе и может быть достаточно эффективной. Недостатками такого подхода являются высокая степень инертности, отсутствие качественной информации у ЛПР, узкая специализация работников и разделение труда, а следовательно, большое количество правил и инструкций, что ведет к принятию необоснованных управленческих решений и снижению экономических показателей деятельности предприятия. Развитие новых тенденций в управлении предприятием стимулируется такими факторами, как расширение мировых рынков, создание новых стратегий управления бизнесом, управление качеством продукции, вовлечение все большего числа работников в процесс управления предприятием, развитие информационных технологий [7]. Это привело к созданию теории интегрированного предприятия, где в единую систему, обладающую эффектом синергии, объединены все подсистемы предприятия.

Прежние системы автоматизированного управления предприятием не ориентированы на новые технологии управления бизнесом. Современный рынок комплексных интегрированных систем (ИС) автоматизации предприятий предлагает такие программные продукты, как SAP/R3, «Парус», «Галактика», «ИС:Предприятие» и другие. Они предназначены для решения задач автоматизации как предприятия в целом, так и его производственных подразделений, цехов, участков. Одни ИС основаны на функциональном подходе к управлению предприятием и встраиваются в существующие структуры управления, не меняя их. Другие ИС требуют проведения такого дорогостоящего мероприятия, как реинжиниринг бизнес-процессов. Поэтому возникает проблема выбора методологии управления предприятием и поддерживающей ее автоматизированной системы управления. Решением этой проблемы занимались такие ученые, как Г. Г. Вендров, Л. Д. Гительман, У. Э. Деминг, Е. З. Зиндер, А. А. Емельянов, Р. И. Макаров, Б. З. Мильнер, Р. А. Фатхутдинов, А. А. Ашимов, Р. Г. Бияшев и др. [6].

Одним из способов повышения качества управления является переход к динамическим сетевым системам управления и применение новых технологий для стабилизации и оптимизации систем управления [10]. В настоящее время это научное направление нашло развитие в работах таких ученых как Н. И. Ар-

хипова, А. А. Денисов, Б. А. Лагоша, М. Месарович, Э. А. Трахтенгерц, А. Д. Цвиркун, А. Н. Швецов, М. А. Бейсемби, Ж. И. Батырканов, Ж. Ш. Шаршеналиев и др. Однако проблема моделирования и проектирования системы автоматизированного управления предприятием, целью которой является обеспечение эффективного функционирования сетевой модели управления, оперативно реагирующей на возмущающие внешние и внутренние факторы, остается не до конца проработанной.

В данной статье мы рассмотрим новую методологию управления предприятием, которая называется объектно-функциональная. Эта методология основана на следующих положениях:

1. Создание единого информационного пространства управленческих решений и управляющих воздействий.
2. Исключение дублирующих информационных потоков и, следовательно, дублирующих функций управления.
3. Децентрализация функций управления и перераспределение ответственности за ресурсы предприятия при решении управленческих задач.
4. Формирование регламента создания, использования и хранения информационных ресурсов предприятия в интегрированной базе данных.
5. Отслеживание этапов жизненного цикла информации для решения задач оперативного управления предприятием.
6. Формирование укрупненных показателей для оценки текущего состояния предприятия и прогнозирования развития бизнеса.
7. Мотивация труда ЛПР за своевременные и качественные управляющие воздействия в пределах делегированных полномочий и данных им прав на использование ресурсов предприятия.

Ниже представлена схема объектно-функциональной системы управления (ОФСУ) предприятием.

Результаты исследований. На рис. 1 показана схема построения взаимодействия ЛПР и объектов управления посредством функций управления. В общем случае система управления рассматривается как кортеж информации:

- (A, B, F, C, D, P, S, W), где
- A – дерево целей ОФСУ;
 - B – множество решаемых ОФСУ задач;
 - F – множество функций управления, реализуемых в ОФСУ;
 - C – множество объектов управления;
 - D – множество административных бизнес-процессов;
 - P – совокупность ЛПР, образующих иерархию управления;
 - S – множество критериев выбора (регламент предприятия);

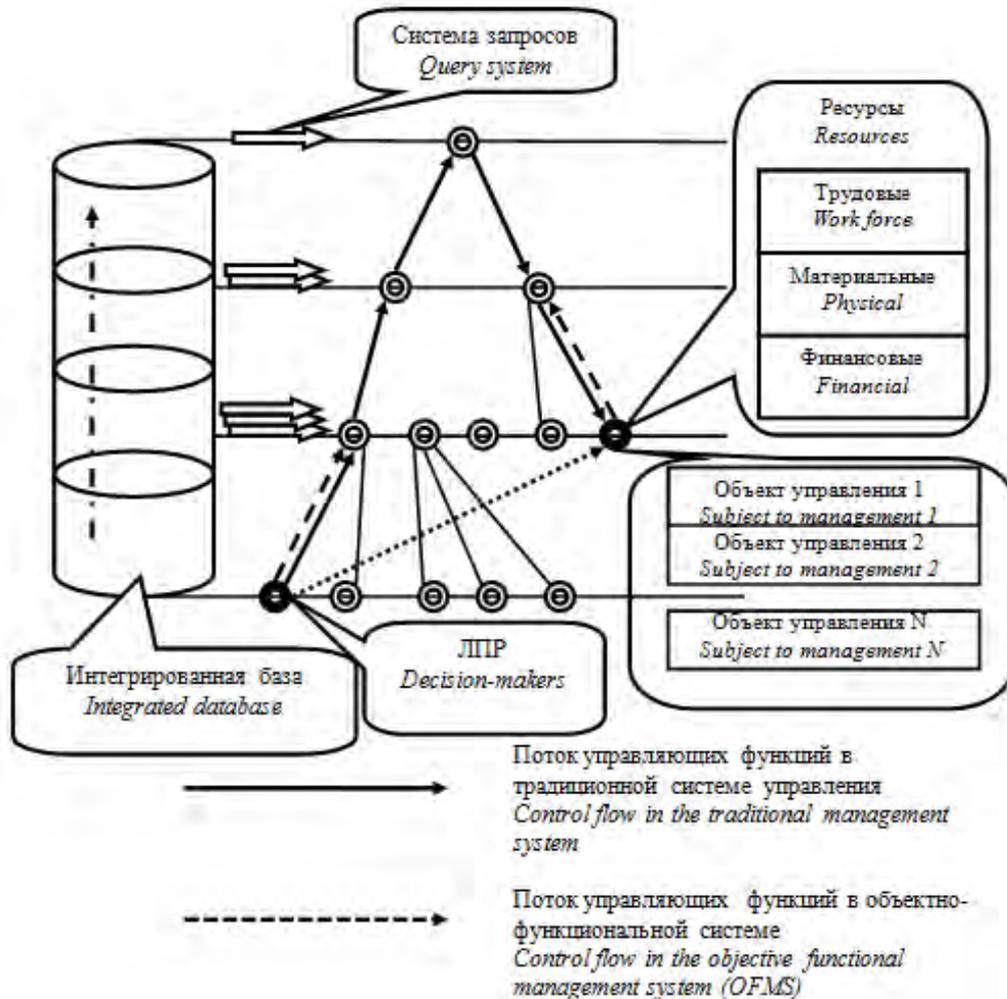


Рис. 1. Схема формирования объектно-функционального управления
Fig. 1. Objective and functional management scheme

W – множество допустимых альтернативных вариантов сетевой структуры управления, реализованных в ОФСУ.

В настоящей работе предлагается механизм построения динамической сетевой структуры управления в рамках ОФСУ для выбора рационального управленческого решения из множества допустимых альтернативных вариантов для достижения поставленных целей, исходя из установленных на предприятии критериев выбора [3, 9].

Модель сетевой структуры управления будет иметь следующий вид:

$$W_i = \bigcup_{j=1}^P (A_j B_j F_j C_j D_j) \quad (1)$$

Для формализации взаимосвязей между различными вариантами построения элементов системы используется альтернативно-графовая формализация, в которой различные варианты построения элементов системы (либо множество таких элементов) задаются в виде вершин альтернативного графа, а дуги отражают характер взаимосвязей между ними [2].

Граф G_a задает взаимосвязи множества альтернативных вариантов достижения целей управления;

граф G_b задает альтернативные варианты реализации задач управления; граф G_f задает альтернативные варианты реализации функций управления; граф G_c отражает взаимосвязи между объектами управления.

Граф G_d отражает варианты функционирования административных бизнес-процессов, исходя из технологических, и может быть детализирован до отдельных этапов бизнес-процессов.

Граф G_p определяет иерархию ЛПР и возможные взаимосвязи между ними при реализации управленческих решений.

Для решения задачи построения сетевой структуры управления необходимо представить каждый уровень детализации в виде классификаторов:

$$G_A = (A, T), \text{ где } A = \{A^0, A^1, \dots, A^{P-1}\} \quad (2)$$

$$G_B = (A, V), \text{ где } B = \{B^0, B^1, \dots, B^{P-1}\} \quad (3)$$

$$G_F = (F, R), \text{ где } F = \{F^0, F^1, \dots, F^{P-1}\} \quad (4)$$

$$G_C = (C, X), \text{ где } C = \{C^0, C^1, \dots, C^{P-1}\} \quad (5)$$

$$G_D = (D, Y), \text{ где } D = \{D^0, D^1, \dots, D^{P-1}\} \quad (6)$$

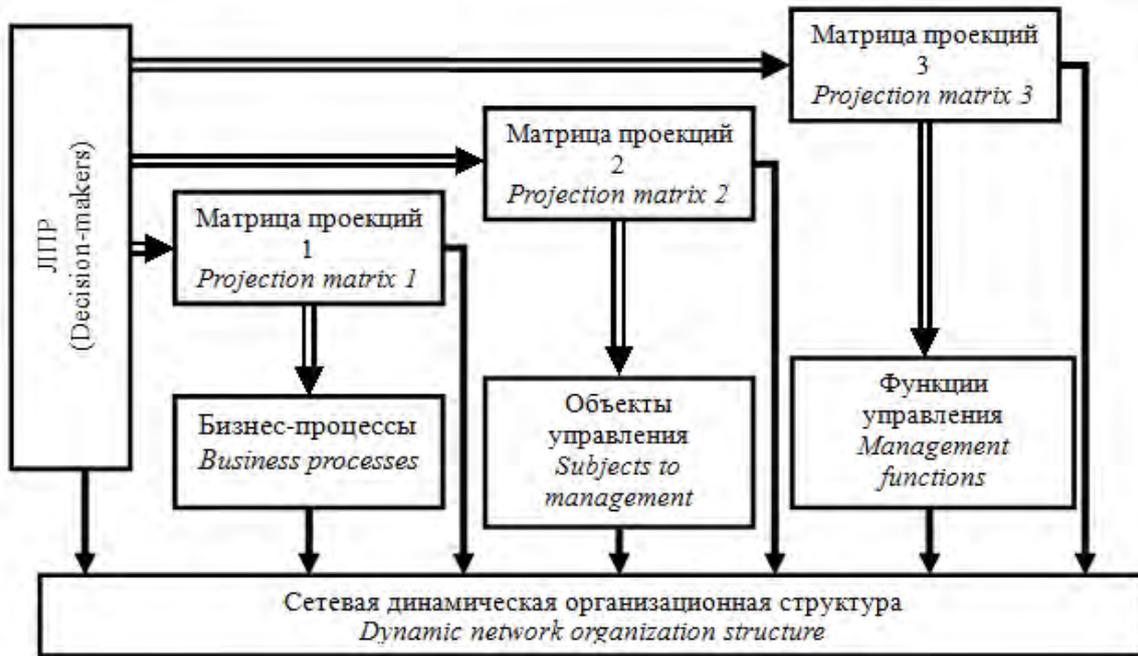


Рис. 2. Концепция формирования сетевых структур управления в рамках объектно функциональной структуры управления
 Fig. 2. Scheme of network management structure in the OFMS

Операцию отображения элементов одного множества на элементы другого множества обозначим C . Оптимальное отображение должно обеспечить экстремум некоторой (или некоторых) целевой функций при выполнении заданных ограничений.

В общем случае задача построения сетевой структуры управления состоит в выборке варианта структуры из следующих множеств:

$$A \in n \quad (7)$$

$$f \in F(A) \quad (8)$$

$$C \in \bar{C} \quad (9)$$

$$[f \in F(A)] \cap [C \in \bar{C}] \quad (10)$$

Если заданы технологические процессы и дерево целей системы управления, то задача построения сетевой структуры состоит в определении (7)–(10), а если заданы технологические процессы, дерево целей системы, выполняемые функции управления и множество объектов управления – в определении (10). Решение задачи построения сетевых структур управления тесно связано с проблемами распределения функций, ответственности за ресурсы организации при неизменном составе объектов управления. Поэтому возникает необходимость в решении задачи построения динамической структуры управления, включая выбор принципов и алгоритмов функционирования ОФСУ. В общем случае эти проблемы тесно связаны, поскольку с изменением организационной структуры меняется система целевых функций и внутренних связей, а, следовательно, и механизмов поведения элементов системы [1, 8].

В работе предлагается решение задачи построения структуры управления, включающей как опти-

мизацию функционирования системы управления, так и распределение функций по узлам ОФСУ и выбор их состава с помощью агрегативно-декомпозиционного подхода [4].

В зависимости от уровня детализации выполняемых системой целей, функций и задач, а также их отображения по уровням ОФСУ, могут быть следующие типовые постановки задач построения структуры управления:

- отображение дерева целей, выполняемых системой (граф G_a), на иерархическую организационную структуру управления (граф G_p); множество ЛПР и их взаимосвязи во многом определяются особенностями графа целей системы;

- отображение множества выполняемых функций, задач, объектов управления (графы G_f, G_b, G_c) соответственно на множество ЛПР (граф G_p) с учетом структуры графа G_d ;

- оптимизация состава и вариантов реализации административных бизнес-процессов и взаимодействий ЛПР (графы G_d и G_p) в процессе принятия управленческих решений.

Целью отображения элементов множеств друг на друга является эффективное функционирование ОФСУ в предлагаемых условиях внешней и внутренней среды в режиме реального времени. Ограничением является отсутствие конфликтов в процессе принятия управленческих решений при управлении бизнес-процессами. Отображение совокупности элементов множеств данных осуществляется ходе построения матриц (рис. 2).

Задача построения сетевой структуры управления состоит в выборе ЛПР из множества объектов управ-

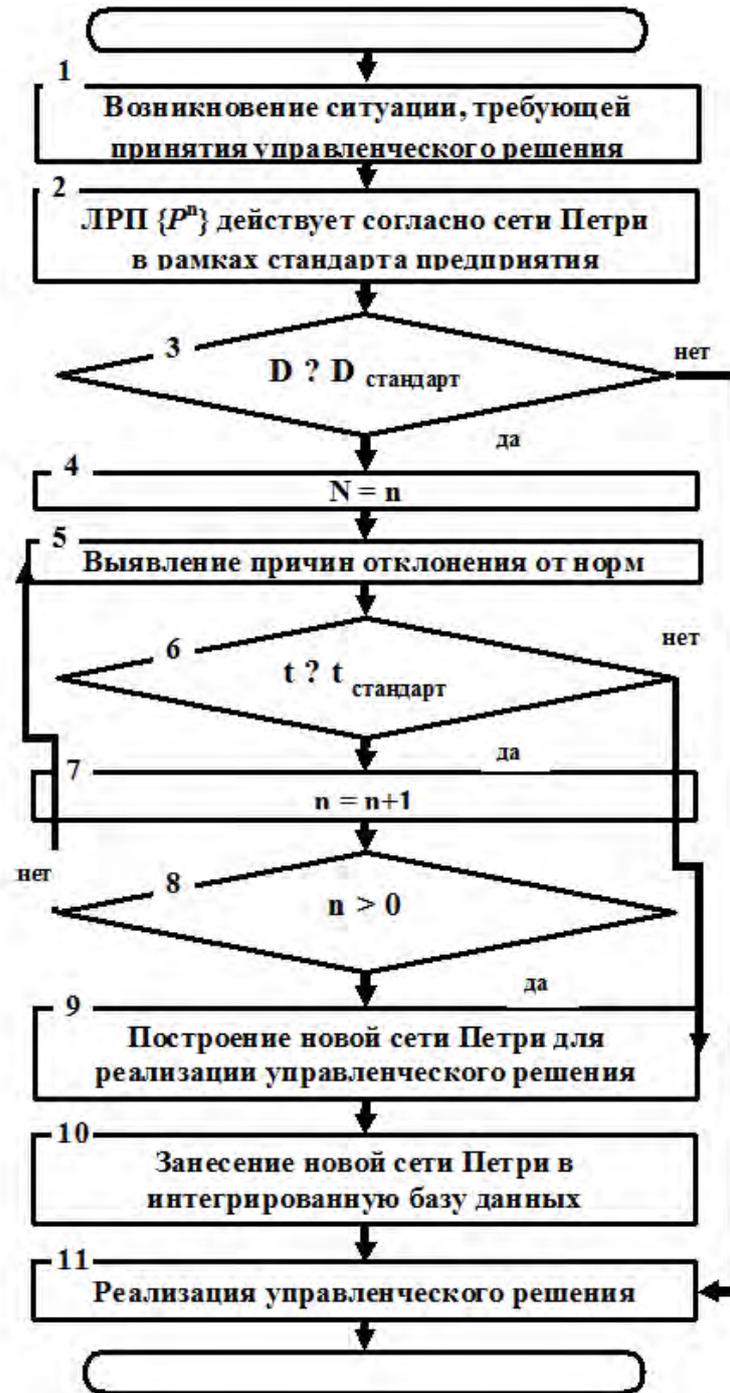


Рис. 3. Алгоритм построения сетевых динамических структур управления в условиях ОФСУ бизнес-процессами

ления $\{C\}$ такой совокупности элементов, которая обеспечивает выполнение множества элементов системы функций $\{F\}$. Модель формирования множества объектов управления может быть представлена в виде:

$$F^P \rightarrow O^P \rightarrow C_{\phi p}^P = \sum_{i=1}^I C_{\phi p}^P \in C^P \quad (11)$$

Задачей ЛПР является выбор рациональной схемы взаимоотношений при принятии управленческих решений по заданным параметрам (рис. 3).

$$W_{\psi}^P(S_f^P) \in W_{\psi}^P \quad (12)$$

где S – система регламентированных вариантов динамических сетевых структур управления предприятием в рамках ОФСУ.

Для построения динамических структур управления были использованы сети Петри, представляющие собой аппарат для моделирования динамических дискретных систем [6]. Сеть Петри определяется как четверка, где P и R – конечные множества позиций и переходов, Γ и O – множества входных и выходных функций. То есть сеть Петри – это двудольный ориентированный граф, в котором позициям соответствуют вершины ЛПР (P), а переходам (Γ) – вершины-процессы реализации управленческих решений; функциям (Γ) соответствуют дуги, направленные от позиций к переходам, а функциям (O) – дуги, направленные от переходов к позициям. Два

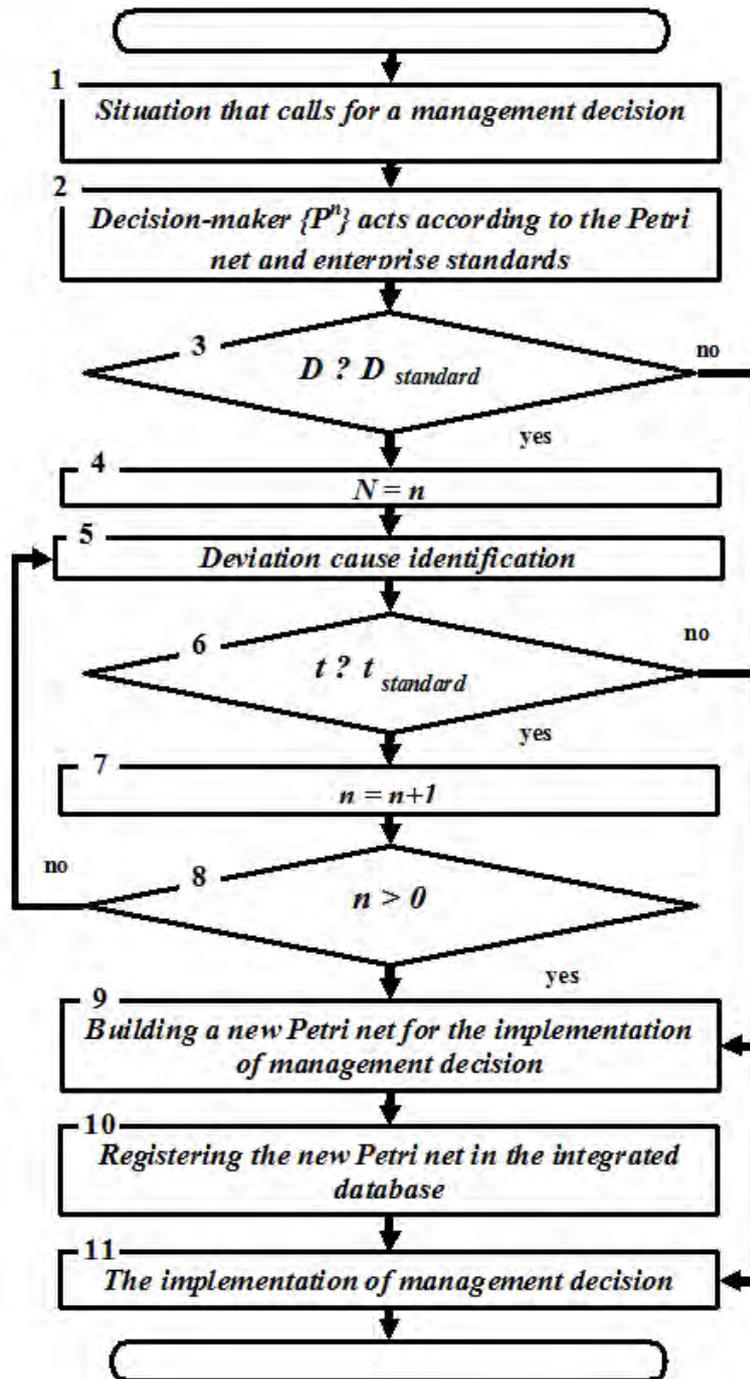


Fig. 3. Dynamic network structures building algorithm in the conditions of OFMS business processes

ЛПР всегда связаны как минимум одним переходом, т. е. управленческим решением. При построении сетей Петри позиции могут отображать как ЛПР, так и состояние анализа ситуации, а переходы могут отображать как управленческие решения, так и сообщения о некоторых событиях. Для изображения в сети сложного перехода используется элемент «блок», учитывающий ряд внутренних ситуаций в ходе принятия управленческого решения при переходе от одного ЛПР к другому.

Реализация бизнес-процессов может отличаться от утвержденного стандарта предприятия. В этих

условиях ЛПР должны взаимодействовать по разработанному алгоритму, предполагающему принятие рациональных управленческих решений в режиме реального времени. Функционирование данного алгоритма в режиме реального времени осуществляется через систему запросов ЛПР к интегрированной базе данных предприятия. Пошаговое описание алгоритма приводится ниже (рис. 3).

Блок 1. Возникновение ситуации, требующей принятия управленческого решения. Такие ситуации могут возникнуть на всех уровнях управления при реализации стандартных бизнес-процессов предприятия.

Таблица 1

Сравнительная характеристика систем управления

Сравнительный признак	Иерархические	Динамические, сетевые	Объектно-функциональные
Оптимальная среда функционирования	Стабильная	Меняющиеся условия внешней среды	Меняющиеся условия внешней и внутренней среды
Выполнение задач	Выполнение специализированных задач	Выполнение поставленных задач при делегировании полномочий	Выполнение поставленных задач через информационные запросы к базе данных
Распределение компетенций	Специализация функций и компетенций ЛПР	Перераспределение компетенций ЛПР исходя из поставленных целей и имеющихся ресурсов	Перераспределение компетенций ЛПР исходя из поставленных целей, имеющихся ресурсов и информационных запросов
Время принятия управленческих решений	По требованию вышестоящего руководителя	Режим реального времени	Режим реального времени согласно регламенту бизнес-процесса
Взаимодействия ЛПР в процессе принятия управленческих решений	Четкая соподчиненность ЛПР	Взаимозависимость ЛПР при принятии решений	Бесконфликтный процесс принятия решений, исключающий взаимозависимость ЛПР
Ответственность ЛПР за результаты управленческих решений	Ответственность за общие результаты работы только на высшем уровне	Ответственность за общие результаты каждого ЛПР	Ответственность за общие результаты каждого ЛПР в рамках делегированных полномочий
Координация действий ЛПР при реализации управленческих решений	Проблемы межфункциональной координации	Координация действий ЛПР при решении возникающих проблем	Координация действий ЛПР при решении возникающих проблем

Table 1

Comparative analysis of management systems

<i>Comparative test</i>	<i>Hierarchies</i>	<i>Dynamic and network management systems</i>	<i>Objective and functional management systems</i>
<i>Optimum operational environment</i>	<i>Stable</i>	<i>Changeable external environment</i>	<i>Changeable external and internal environment</i>
<i>Task performance</i>	<i>Execution of specific tasks</i>	<i>Execution of designated tasks and delegation of authority</i>	<i>Execution of designated tasks through placing information requests to the database</i>
<i>Division of jurisdiction</i>	<i>Differentiation of functions and jurisdiction of the decision-makers</i>	<i>Reassignment of the jurisdiction of decision-makers according to the objectives and resources of the enterprise</i>	<i>Reassignment of the jurisdiction of decision-makers according to the objectives, resources of the enterprise and information requests</i>
<i>Decision-making time</i>	<i>On the demand of a superior</i>	<i>In real time</i>	<i>In real time according to the business process regulations</i>
<i>Relations between decision-makers in the process of decision-making</i>	<i>A clear hierarchy</i>	<i>Interdependence</i>	<i>Conflict-free process without interdependence</i>
<i>Responsibility of the decision-makers for the results of their decision</i>	<i>Only the higher levels of management are responsible for the outcome</i>	<i>Every decision-maker is responsible for the outcome</i>	<i>Every decision-maker is responsible for the outcome to the extent of the delegated authority</i>
<i>Coordination of the actions of decision-makers during execution of management decisions</i>	<i>Problems with cross-functional coordination</i>	<i>Coordination of the actions of decision-makers when solving the arising problems</i>	<i>Coordination of the actions of decision-makers when solving the arising problems</i>

Блок 2. ЛПР действует согласно сети Петри в рамках нормативов предприятия. Для каждой группы проблем, требующих принятия управленческих решений, разработаны регламентированные сети Петри для взаимодействия ЛПР. Использование данного регламента позволяет принимать рациональные управленческие решения в режиме реального времени, исключая конфликтные ситуации.

Блок 3. Проверка соответствия текущего бизнес-процесса нормативному состоянию. Отклонение параметров бизнес-процесса от регламента фиксиру-

ется в интегрированной базе данных, позволяющей ЛПР увидеть возникшие отклонения.

Блок 4. Переход управляющих воздействий на один уровень выше по иерархии управления.

Блок 5. Выявление отклонений от норм по диаграмме на уровне ЛПР. Критерии оценки эффективности от внедрения методики построения динамических сетевых структур взаимосвязаны и представляют собой причинно-следственные цепочки стратегий: от конечных финансовых результатов до ресурсов, необходимых для их достижения. Поэтому

для обеспечения рационального управления построена система обратных связей, основанная на взаимодействии целей и факторов успеха.

Блок 6. Сравнение фактического времени t на выявление причин отклонения от норм с регламентом предприятия. Если $t > t_p$ то идет переход к блоку 9, если это условие не выполняется, то идет переход к блоку 7.

Блок 7. Переход на один уровень выше по иерархии управления.

Блок 8. Сравнение уровня управления с конечным числом уровней управления на данном предприятии. Если в результате прохождения цикла от блока 5 до блока 8 был достигнут уровень высшего руководства, то идет переход к блоку 9, если нет, то идет переход к блоку 5.

Блок 9. Построение новой сети Петри для реализации управленческого решения. Реализация данного блока осуществляется ЛПР того уровня управления, где были выявлены причины отклонения хода бизнес-процесса от стандарта. Строить сеть Петри могут только ЛПР, имеющие на это полномочия согласно своим функциональным обязанностям.

Блок 10. Занесение новой сети Петри в интегрированную базу данных предприятия. Реализация данного блока осуществляется в рамках регламента предприятия.

Блок 11. Реализация управленческого решения на уровне ЛПР.

В системе управления предприятием присутствует множество материальных объектов, которые присущи тому или иному бизнес-процессу. Под объектом будем понимать элементарную неделимую единицу на заданном уровне представления системы. Эффективное представление бизнес-процесса можно получить через систему показателей. Показатель – это значимый для ЛПР элемент информации об управляемом объекте. Для каждого показателя в системе управления определяются правила его получения, формат ввода-вывода и регламент обмена показателями между ЛПР. Извлечение показателей осуществляется с приборов, контроллеров, первичных документов, справочников, internet-ресурсов и т. п. [1, 7]. В процессе работы состав показателей об объекте и регламент их предоставления может изменяться. По-

ставщиком данных об одном объекте управления может быть несколько ЛПР, что дает возможность сопоставлять предоставленную ими информацию.

В объектно-функциональной системе управления реальный объект заменяется его информационной моделью [5]. При построении информационной модели объекта применяются следующие системные принципы:

- принцип абстрагирования, который заключается в выделении существенных элементов системы;
- принцип непротиворечивости, который заключается в обоснованности и агрегировании элементов объекта в сложный объект;
- принцип структурирования данных, который заключается в том, что данные должны быть организованы в структуры.

Выводы и рекомендации. Система управления предприятием, построенная на основе представления объектов и функций управления, дает возможность реализовать гибкие, быстро перенастраиваемые под требования производства объекты.

ОФСУ отличается от существующих систем управления предприятием (табл. 1).

Разработанная нами методология управления предприятием, которая названа объектно-функциональной, рекомендуется для построения динамических сетевых структур управления, обеспечивающих оптимальное управление производством.

Преимущества ОФСУ перед традиционными СУ следующие:

- Эффективно функционирует в изменяющихся условиях внешней и внутренней среды.
- Позволяет принимать управленческие решения в режиме реального времени согласно разработанному регламенту бизнес-процессов предприятия.
- Обеспечивает формализованное распределение прав, обязанностей, ответственности и ресурсов предприятия между ЛПР.
- Позволяет бесконфликтно разрешать нетипичные ситуации, вызванные отклонениями от нормального хода бизнес-процессов.

Таким образом, ОФСУ является наиболее оптимальной системой управления для построения динамических сетевых структур управления в ходе реализации управленческих решений.

Литература

1. Абед Е. Н. Достижения в управлении, сетях коммуникации и системах транспортировки. Бостон : Биргхаузер, 2009. 375 с.
2. Абиди К., Ксу Дж. Передовой дискретно-фазовый контроль: проекты и применения. Нью-Йорк : Шпрингер, 2015. 232 с.
3. Аграчев А. А. Теория нелинейного и оптимального управления. Нью-Йорк, 2013. 374 р.
4. Андерсон Б. Д., Моор Дж. Б. Оптимальное управление: линейные квадратичные методы. Нью-Джерси, 2012. 287 с.
5. Баймухамедов М. Ф. Information systems (Информационные системы) : учебник. Алматы : Бастау, 2012. 288 с.

6. Баймухамедов М. Ф. Теория автоматического управления : учебник. Алматы : Бастау, 2016. 241 с.
7. Dorf R. K., Bishop R. H. Современные системы управления. Массачусетс, 2005. 312 с.
8. Грязина Е. Н., Поляк Б. Т. Современное состояние Д-разбиения // Автоматика и телемеханика. 2008. № 12. С. 3–40.
9. Кью Б. К. Цифровые системы управления. Оксфорд, 2003. 259 с.
10. Поляк Б. Т., Грязина Е. Н. Новые технологии проектирования для стабилизации и оптимизации линейных систем // Материалы XVII международного конгресса IFAC (Международная федерация по автоматическому управлению). Сеул, 2008. С. 376–382.

References

1. Abed E. H. Achievements in management, networks of communication and systems of transportation. Boston, 2009. 375 p.
2. Abidi K., Ksu Dzh. Advanced discrete and phase control: projects and applications. NY, 2015. 232 p.
3. Agrachev A. A. Theory of non-linear and optimum control. NY, 2013. 374 p.
4. Anderson B. D., Moor Dzh. B. Optimum control: linear square methods. New Jersey, 2012. 287 p.
5. Baymukhamedov M. F. Information systems : textbook. Almaty : Bastau, 2012. 288 p.
6. Baymukhamedov M. F. Theory of automatic control : textbook. Almaty : Bastau, 2016. 241 p.
7. Dorf R. K., Bishop R. H. Modern control systems. Massachusetts, 2005. 312 p.
8. Gryazina E. N., Polyak B. T. Current state of D-splitting // Automatic equipment and telemechanics. 2008. № 12. P. 3–40.
9. Kew B. K. Digital control systems. Oxford, 2003. 259 p.
10. Polyak B. T., Gryazina E. N. New technologies of design for stabilization and optimization of linear systems // Proc. of XVII int. congress of IFAC (International federation of automatic control). Seoul, 2008. P. 376–382.