

количество фрагментов (а также способ разбиения на фрагменты), n - размер вектора признаков, m - количество эталонов.

Основное предназначение процедур голосования состоит в повышении эффективности принятия решений в условиях неполного представления объектов, вызванного действием фона и помех [2]. Перспективным направлением является разработка методов голосования комбинаций фрагментов.

Список литературы: 1. *Путятин Е.П., Аверин С.И.* Обработка изображений в робототехнике. Москва: Машиностроение, 1990. 320с. 2. *Гороховатский В.А.* Распознавание изображений в условиях неполной информации. Харьков: ХНУРЭ, 2003. 112 с. 3. *Форсайт Д., Понс Ж.* Компьютерное зрение. Современный подход. Пер. с англ. -Москва: Издательский дом «Вильямс», 2004. 928с. 4. Зарубежная радиоэлектроника, 1987, №10. 5. Schmid C., Mohr R., Vauckhage C. Evaluation of interest point detectors. - Internation Journal of Computer Vision, 2000, V. 2, №37. P. 151-172. 6. Шапиро Л., Стокман Дж. Компьютерное зрение. Пер. с англ.- Москва: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2006. 752 с. 7. Гороховатский В.А. Структурно-иерархические методы определения сходства изображений объектов // АСУ и приборы автоматики, 2005, вып.131, с. 55-62. 8. Дуда Р., Харт П. Распознавание образов и анализ сцен.- Москва: Мир, 1976. 512с.

Поступила в редакцию 11.10.06

УДК 519.87

В.Н. ГЛУШКО, аспирант каф. АСУ НТУ «ХПИ»,
А.Е. ГОЛОСКОКОВ, канд. техн. наук

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

В статті пропонується підхід до дослідження систем управління складними технологічними процесами. В основі підходу покладені принципи імітаційного моделювання. В рамках підходу наводиться структурно-функціональна схема до дослідження функціонування системи управління технологічним процесом. Також наводиться умовний приклад використання розглянутого підходу, та деякі загальні питання реалізації запропонованої схеми за допомогою мови програмування високого рівня.

1. Актуальность проблемы апробирования систем управления сложными динамическими ТП. При построении моделей систем управления (СУ) сложными технологическими процессами (ТП) актуальной является проблема проверки адекватности моделей ТП и исследования их при различных режимах работы ТП. Можно выделить два подхода к проведению такого исследования [1, 3]: апробация СУ на реальном ТП и апробация СУ на аналитической или имитационной модели ТП. Анализ существующих на сегодняшний день печатных и электронных источников информации (в частности [1, 3]) показал, что наиболее эффективным является исследование СУ ТП с использованием имитационных моделей ТП. Отметим, что ИМ при исследовании реальных ТП используется для решения таких задач, как исследование полноты наличия и качества функционирования оборудования

ТП и персонала ТП, оценки производительности ТП, оценки оперативных процедур управления ТП и т.д [3].

В настоящее время существует большое количество программных средств, позволяющих осуществлять построение имитационных моделей ТП. Однако, как правило, такие средства предоставляют только инструментарий для создания моделей, зачастую без использования каких либо методологических основ к построению моделей. Поэтому при моделировании ТП исследователю необходимо рассматривать задачу определения как общей стратегии исследования модели ТП, так и стратегий каждого этапа. В данной статье рассматривается системный подход к исследованию СУ сложными ТП с использованием имитационного моделирования (ИМ), в рамках которого выполнена постановка задачи исследования, определена структура ИМ системы «СУ-ТП» и рассмотрены программные аспекты реализации на языках высокого уровня.

2. Качественная постановка задачи. Пусть имеется некоторый технологический процесс TP . Будем считать, что ТП, в общем случае, обладает такими свойствами как нелинейность, динамичность и сложность.

Предположим, что ТП характеризуется n входами и m выходами. При этом некоторые, или в общем случае все, выходы могут быть одновременно и входами. То есть рассматриваемый ТП характеризуется обратной связью по выходам. Состояние входов ТП в момент времени t будем обозначать вектором $X^t = \{x_i^t\}_{i=1}^n$.

Введем в рассмотрение понятие цикла ТП. Под циклом ТП будем понимать набор операций в рамках ТП, выполняемых при прохождении материала от входа ТП к его выходу, необходимых для полной обработки исходного элемента, поступающего извне ТП. Время, затрачиваемое на элементарный цикл ТП, обозначим через ΔT_0 . При этом время ΔT_0 , фактически, не является жестко фиксируемым и в действительности соответствует времени $\Delta T_0 \pm \delta$, где δ - отклонения от расчетного времени цикла ТП, обусловленные наличием случайной составляющей в динамике ТП.

Состояние выходов ТП, соответствующее входам, значения которых заданы вектором X^t , в момент времени $t + \Delta t$ будем обозначать вектором $Y^{t+\Delta t} = \{y_j^{t+\Delta t}\}_{j=1}^m$.

Значения выходов $Y^{t+\Delta t}$ получаются вследствие изменения входных значений под влиянием воздействий двух факторов: возмущения, обусловленные природой ТП и составляющих его подпроцессов, а также внешней средой, и управляющие воздействия, обусловленные вмешательством человека-оператора ТП. Возмущения первого типа могут накладывать дополнительные ограничения на функциональные зависимости, определяемые физической природой рассматриваемого ТП. Воздействия

второго типа будем обозначать вектором $C^{t_k} = \{c_{i=1}^{t_k}\}^L$. Будем называть составляющие технологический процесс подпроцессы – технологическими потоками (ТПк).

В первом приближении структура ТП представлена на рис. 1:

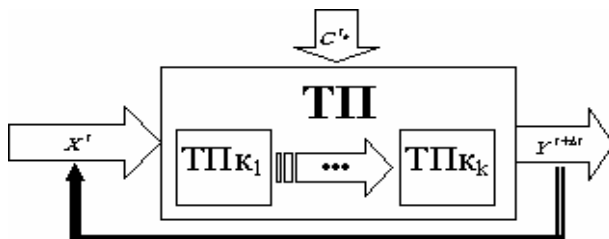


Рис. 1. – Типовая структура СУ ТП

Применение ИМ для исследования СУ ТП представляет собой итерационный процесс, каждая итерация которого состоит из следующих этапов [1]:

1. Изучение ТП и окружающей среды.
2. Создание концептуальной модели ТП.
3. Реализация концептуальной модели на компьютере.
4. Проведение численных экспериментов.
5. Анализ и внедрение результатов моделирования.

В данной статье рассматривается создание концептуальной модели при построении ИМ для исследования СУ ТП и некоторые аспекты реализации концептуальной модели на компьютере.

3. Общая схема построения имитационной модели для исследования СУ произвольным ТП. В составе имитационной модели для исследования СУ ТП можно выделить следующие структурные элементы с таким функциональным назначением:

1. Блок входов ТП: предоставляет доступ к значениям входных параметров;
2. Блок выходов ТП: предоставляет доступ к значениям выходных параметров;
3. Блок генератора текущей ситуации: на основе результатов функционирования блоков №№ 2-8 в соответствии с заданным алгоритмом, определяемым физической природой ТП, осуществляет генерирование текущей ситуации с последующей ее подачей на вход блока №1;
4. Блок обратной связи по выходам: реализует передачу части или, в общем случае, всех значений выходов на дополнительные входы блока №3. В предельном варианте в случае отсутствия обратной связи по выходам для простых ТП данный блок может отсутствовать;
5. Блок связи по управлению: реализует передачу результата принятия решения по управлению с системы управления на вход блока № 3;

6. Блоки технологических потоков ТП: представляют собой декомпозицию рассматриваемого ТП. Каждый из блоков данной серии по возможности реализует некоторую структурно-функциональную часть всего подпроцесса. Данные блоки вводятся для более детального изучения протекающих процессов, а также с целью более тщательной проверки адекватности системы управления рассматриваемому ТП. Если физическая природа ТП не позволяет реализовать составляющие его подпроцессы (вследствие их сложности, недостаточной изученности или взаимного перекрытия, например), то допускается не проводить декомпозицию рассматриваемого ТП, а реализовать его в виде одного структурного блока;

7. Блок непредвиденных ситуаций: вводится с целью добавления элемента случайности к моделируемому процессу. Данный блок предназначен для моделирования аварийных режимов функционирования ТП. Функциональный состав данного блока определяется физической природой рассматриваемого ТП;

8. Блок запаса ресурсов ТП: вводится с целью отражения ресурсных ограничений на функционирование ТП. Все ресурсы, необходимые в процессе функционирования ТП, а также их ограничения определяются на этапе исследования предметной области рассматриваемого ТП.

Взаимосвязь блоков отображена на рис. 2:

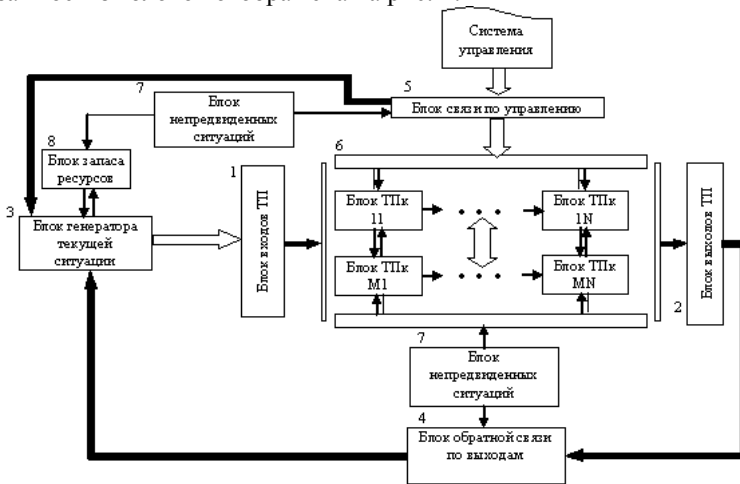


Рис. 2. – Структурно-функциональная схема

Рассмотрим функционирование структурных блоков более подробно.

Блок 1 осуществляет формирование из отдельных значений, сгенерированных в блоке 3 для входов модели ТП, и передачу вектора X с выхода блока 3 на вход блока 6.

Блок 2 осуществляет формирование из отдельных значений выходов ТП вектора $Y = TP(X)$ и передачу его с выхода блока 2 на вход блока 3.

Блок 4 реализует передачу вектора $Y = TP(X)$ с выхода блока 2 на вход блока 3.

Блок 5 осуществляет формирование вектора управляющих решений с выхода системы управления и передачу его на вход блока 3.

Блок 6 реализует суперпозицию функций f_i , каждая из которых задает протекание элементарного технологического потока. Вид функций f_i определяется физической природой моделируемого процесса, т. е. $Y = TP(X) = f_1 \circ f_2 \circ \dots \circ f_N$, где \circ – любая допустимая математическая операция над функциями технологических потоков. В общем случае для построения математического описания процессов, протекающих в данном блоке, могут использоваться либо методы классической теории управления [2], либо альтернативные методы построения систем управления, например методы теории нечеткой логики и управления [4].

Блок 7 осуществляет моделирование элемента случайности окружающей среды и ТП. В основе функционирования блока 7 лежит генератор случайных чисел. Для каждого элемента векторов X , Y и C , требуемых ресурсов, а также параметров технологических потоков ТП (индивидуальных для каждого ТП) осуществляется выработка некоторого случайного возмущения. Каждое случайное возмущение определяется следующим выражением:

$$\delta_i = s_i F_i (\Delta_{\max} - \Delta_{\min}),$$

где s_i – определяет знак возмущения, то есть, является ли генерируемое возмущение положительным или отрицательным. При этом

$$s_i = \begin{cases} '+', & \text{если } Ps_i > c \\ '- ', & \text{если } Ps_i \leq c \end{cases},$$

где Ps_i – случайное число из интервала $[a, b]$ с заданным законом распределения $P(x)$. При этом c – середина интервала $[a, b]$. Для генерирования последовательности таких случайных чисел, подчиняющихся заданному закону распределения, может использоваться метод обратных функций или свойства кумулятивного закона распределения [1,3]; F_i – сила воздействия возмущения δ_i на параметр Δ , изменяющаяся в пределах $[0, 1]$. При этом значение равное 0 можно рассматривать как полное отсутствие возмущений в функционировании системы управления, а равное 1 – как наличие возмущений максимальной силы воздействия; Δ_{\min} , Δ_{\max} – минимальная и максимальная границы диапазона допустимых значений возмущаемой переменной, задаваемые исследователем.

С учетом введенного выше возмущения для переменных системы любая контролируемая переменная Δ^i в момент времени $t + \Delta t$ будет иметь вид:

$$\Delta_{t+\Delta t}^i = \Delta^i + \delta_i^i.$$

Блок 8 реализует ресурсные ограничения на контролируемые параметры Δ^i . Будем считать, что для функционирования ТП требуется Ω типов ресурсов. В момент времени t каждый ресурс характеризуется объемом $R = \{ R_{\Delta_i}^t \}$, который со временем при функционировании ТП уменьшается в соответствии с некоторым законом, определяемым спецификой ТП. Скорость уменьшения зависит от физических характеристик ТП. Поэтому для устойчивого и продолжительного функционирования ТП необходимо контролировать объем ресурсов. Такой контроль и оценка производится в блоке 3. Изменение ресурсных ограничений задается путем введения функций $r_{\sigma}(R_{\Delta_i}^t)$. Вид этих функций определяется спецификой ТП.

Блок 3 координирует работу модели в целом. На основе информации, поступающей из блоков 4, 5 и 8, в нем происходит формирование текущей ситуации. Таким образом, для формирования текущей ситуации в момент времени $t + \Delta t$ используется информация о входах ТП до применения управляющего воздействия X^{t-1} , о выходах ТП после применения управляющего воздействия Y^t , информация о качественных и количественных характеристиках управляющего воздействия C^t , а также информация об объеме имеющихся в наличии ресурсов, необходимых для функционирования ТП R^t . Рассмотрим эти составляющие:

1. Вектора входов ТП X^{t-1} и выходов Y^t - представляют собой базис для формирования текущей ситуации в момент времени $t + 1$.
2. Вектор управляющих воздействий C^t - позволяет оценить знак и величину изменения параметров ТП.
3. Вектор R^t - являет собой ограничения на функционирование ТП, т.е. изменение его параметров.

Функционирование данного блока может быть представлено в общем виде функцией $S^{t+1} = \Phi(Y^t, C^t, R^t)$. Конкретный вид функции Φ определяется особенностями моделируемого ТП.

4. Фазы функционирования произвольного ТП. ТП представим в виде совокупности трех последовательных режимов: запуск ТП, рабочий режим и остановка ТП. Моменты перехода ТП с режима на режим представляют собой переходной режим функционирования ТП. В течение переходного режима происходит возмущение параметров ТП. Дальнейшая их стабилизация полностью определяется конструктивом оборудования и условиями протекания ТП, определяя устойчивость функционирования ТП. Если ТП

устойчив, то переход с режима на режим осуществляется за конечное время. В случае неустойчивого ТП гарантировать достижение следующего режима, не используя управляющие воздействия, не представляется возможным [2]. В последнем случае имеет место, так называемый аварийный режим работы ТП. Очевидно, что в процессе запуска ТП осуществляется вывод параметров ТП с нулевого значения в значения рабочего режима; в ходе рабочего режима осуществляется стабилизация параметров ТП на заранее заданных нормативных (оптимальных) значениях, в процессе остановки ТП осуществляется уменьшение значений параметров ТП до нуля. При этом функционирование ТП во всех трех фазах осуществляется в соответствии с некоторыми критериями, например отсутствие угроз человеческой жизни, минимальные затраты ресурсов, выпуск качественной продукции и т.д.

При рассмотрении вопросов построения имитационной модели для исследования СУ ТП важным также является вопрос о модельном времени T генерирования каждой новой текущей ситуации. Очевидно, что это значение определяется типом и характеристиками ТП, а также свойствами системы моделирования.

Для исследования полученной имитационной модели «СУ – ТП» можно использовать, так например, классический трехфазный подход исследования имитационных моделей [3].

5. Построение формальной схемы имитационной модели исследования СУ на примере процесса поддержания требуемого уровня жидкости в резервуаре. Для иллюстрации приведенного выше подхода рассмотрим следующий пример [2]. Структура рассматриваемого ТП показана на рис. 3.

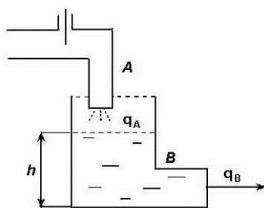


Рис. 3. – Схема процесса поддержания уровня жидкости в резервуаре

Задача заключается в поддержании требуемого уровня жидкости в резервуаре B . В данном случае управляемой переменной является угол поворота θ вентиля на трубе A , а управляющей переменной – уровень жидкости в резервуаре h . Рассматриваемый процесс характеризуется удельным объемом поступающей жидкости q_A и удельным объемом расходуемой жидкости q_B . Будем также считать, что выходной поток жидкости не регулируется.

Дифференциальное уравнение, описывающее процесс, имеет следующий вид:

$$\dot{h} = k_1 \Delta\theta - k_2 \Delta q_B, \quad (1)$$

где $k_1 = a/S$, $k_2 = 1/S$. При этом $a = \left. \frac{\partial \Phi}{\partial \theta} \right|_{\theta=\theta_0}$ (θ_0 – угол поворота вентиля в

номинальном режиме, $\Phi = \Phi(\theta) = q_A$ – функциональная зависимость, определяющая пополнение жидкости в резервуаре), а S – площадь поперечного сечения резервуара. Более подробно см. [2].

Таким образом, процесс регулирования уровня жидкости в резервуаре представляет собой процесс, описываемый дифференциальным уравнением (1). Будем предполагать, что для функционирования ТП задан ресурс – запас жидкости – объемом R .

Для рассмотренного выше объекта управления построена система управления. Принимаемые решения полностью описываются дифференциальным уравнением ТП. Все управляющие решения будут применяться по отношению к управляемой переменной $\Delta\theta$. Таким образом, можно выделить следующие управляющие воздействия:

1. открыть вентиль, повернув его на угол $\Delta\theta$ или $C_{\Delta\theta}^+$;
2. закрыть вентиль, повернув его на угол $\Delta\theta$ или $C_{\Delta\theta}^-$;
3. не изменять положение вентиля или C_0^0 .

Полное множество управляющих решений будет иметь вид:

$$C = \langle C_{\Delta\theta}^+, C_{\Delta\theta}^-, C_0^0 \rangle.$$

Рассмотрим построение имитационной модели для исследования СУ ТП выше.

1. Блок 1 характеризуется двумя входными переменными: отклонением угла поворотного вентиля $\Delta\theta$ и величиной удельного расхода жидкости Δq_B .

2. Блок 2 характеризуется одной выходной переменной \dot{h} .

3. Блок 3 осуществляет генерирование входной ситуации

$S_t = (\Delta\theta^t, \Delta q_B^t, \dot{h}^{t-\Delta t}, C^{t-\Delta t}, R^{t-\Delta t})$ для текущего шага процесса моделирования в момент времени t . При этом на блок 1 подаются только 2 первых составляющих текущей ситуации. Построение текущей ситуации, сложившейся на объекте управления, осуществляется на основе предыстории его функционирования в момент времени $t - \Delta t$, т.е. на основе ситуации:

где $\xi_{\Delta\theta}^{t-\Delta t}$, $\xi_{\Delta q_B}^{t-\Delta t}$, $\xi_{\Delta h}^{t-2\Delta t}$, $\xi_C^{t-2\Delta t}$ и $\xi_R^{t-2\Delta t}$ - случайные составляющие для соответствующих моделируемых переменных, отражающие случайности реального мира относительно текущего момента модельного времени t .

На первой итерации работы модели начальная ситуация имеет вид:

$$S_0 = (0, 0, 0, C_{\Delta\theta}^+, R).$$

4. Блок 4 в момент времени $t - \Delta t$ относительно текущего момента модельного времени t осуществляет передачу мгновенного значения изменения уровня жидкости в резервуаре $h^{t-\Delta t}$.

5. Блок 5 в момент времени $t - \Delta t$ относительно текущего момента модельного времени осуществляет передачу управляющего решения $C^{t-\Delta t}$.

6. Блок 6 реализует ТП, моделирование которого производится. Данный процесс описывается дифференциальным уравнением (1).

7. Функционирование блока 7 подробно описано выше в разделе 3.

Построенная имитационная модель может быть исследована, например, с помощью трехфазного метода моделирования.

6. Аспекты программной реализации имитационной модели «СУ-ТП». В настоящее время при построении имитационных моделей исследователю доступны два варианта реализации построенной модели [3]: с помощью языков программирования общего назначения (C/C++, Object Pascal и т.д.) или с помощью модельных языков программирования (Arena, GPSS/H, SIMUL8, Simulink (Matlab) и т.д.). Более дорогостоящим и быстрым методом создания имитационных моделей, но в то же время и менее гибким является второй подход. Поскольку результаты данной статьи авторы предполагают использовать в процессе создания СУ ТП обжига клинкера мокрым способом, например при обучении оператора ТП или при апробации программно-аппаратной модели СУ ТП, то ниже будут рассмотрены некоторые вопросы создания архитектуры имитационной модели на языке высокого уровня общего назначения.

Предполагается, что программное обеспечение (ПО), реализующее имитационную модель «СУ-ТП», должно быть запущено все время исследования системы управления. При этом необходимые входные/выходные данные с ПО – это реакция ТП на вырабатываемые управляющие воздействия, подаваемая на вход программы-анализатора качества функционирования системы управления. Поэтому наиболее оптимальной будет реализация в виде СОМ-объекта, представленного в виде исполняемого процесса в операционной системе W2K/XP/W2K3. Для упрощения гибкости при исследовании будем разделять реализацию ТП и реализацию СУ. Осуществим реализацию полной модели ТП без СУ в виде подключаемого к СУ модуля посредством некоторого интерфейса. Сама СУ будет представлять собой обычное оконное приложение Windows. Поэтому предполагается осуществлять реализацию модели ТП в виде СОМ-объекта,

представленного в виде DLL-библиотеки. Общая схема реализации имитационной модели показана на рис. 4:

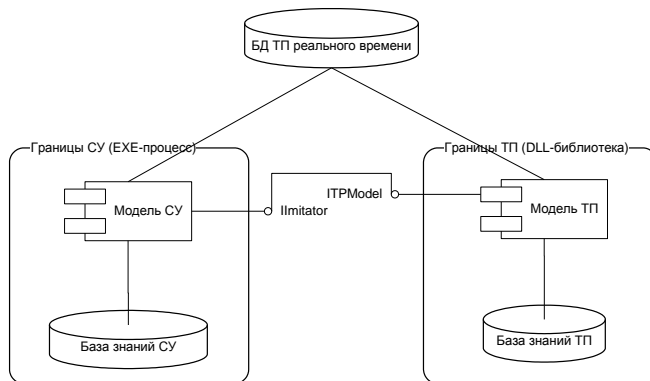


Рис. 4. – Общая схема реализации имитационной модели

Выводы. Таким образом, в данной статье были рассмотрены вопросы использования методов имитационного моделирования к исследованию СУ сложными ТП. Полученные результаты авторы предполагают использовать для исследования СУ сложным ТП обжига клинкера мокрым способом во вращающейся печи.

Список литературы: 1. Robinson S. Simulation: the practice of model development and use. – John Wiley & Sons, Ltd, 2004. – 316р. – ISBN 0-470-84772-7 2. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.1. Линейные системы. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 288 с. 3. Лоу А.М., Кельтон В.Д. Имитационное моделирование. Классика CS. 3-е изд. – СПб.: Питер; Киев: BHV, 2004. – 847с. 4. Голоскоков А.Е., Глушко В.Н. Управление сложными технологическими процессами на основе нечетких систем продукционных правил, Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков: НТУ «ХПИ». - №45. – 2004. – 180с.

Поступила в редколлегию 23.10.06

УДК 330(075.8)

О. А. МАСЛОВА, аспирант НТУ «ХПИ»

С. В. ШЕВЧЕНКО, канд. техн. наук,

О ЗАДАЧЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУР УПРАВЛЕНИЯ

В статті розглянута роль організаційної структури управління підприємством, наведені типи організаційних структур. Звертається увага на проблему гнучкості структур та можливість підвищення ефективності роботи підприємства за рахунок адекватності організаційної структури. Запропонована структура математичної моделі залежності організаційної структури від наведених факторів.

Актуальность проблемы. Одним из основных способов повышения эффективности хозяйственного механизма является совершенствование организационных форм и структур управления.