

УДК 330.342.146

А.А. Сидоров, П.В. Сенченко

## Структурно-функциональная и динамическая модели мониторинга социально-экономического развития муниципальных образований

Предложены структурно-функциональная и динамическая модели мониторинга социально-экономического развития муниципальных образований на базе формального представления жизненного цикла переработки информации. Разработан инструмент определения требований, обеспечивающих эффективное функционирование системы информационно-аналитического сопровождения управления в органах власти. Указаны направления развития разработанных моделей.

**Ключевые слова:** мониторинг социально-экономического развития, структурно-функциональная модель, динамическая модель, сети Петри.

На современном этапе модернизации системы государственного и муниципального управления предпринимается немало попыток, направленных на повышение результативности и эффективности деятельности органов управления. Очевидно, что без анализа деятельности властных структур и состояния социально-экономической среды, на которую оказывается воздействие, сложно говорить о наличии работоспособного механизма информационно-аналитического обеспечения подготовки и принятия решений по широкому кругу вопросов в области публичного управления. В качестве такого инструмента целесообразно рассматривать систему мониторинга.

Первоначально мониторинг возник и развивался в естественных науках (например, метеорологический, гидрологический и т.п.). В дальнейшем он стал применяться в технических и социальных отраслях знаний. Необходимо отметить, что здесь, как правило, существует четкая методологическая основа мониторинга, разработаны инструменты измерения, сформирована организационная структура реализации, а также закреплён на законодательном уровне его статус. В общественных науках наиболее широкое использование и развитие мониторинг получил в социологии, психологии и педагогике.

Управленческая сущность мониторинга раскрывается через его функцию обслуживания процессов подготовки и принятия решений, поскольку только при наличии необходимой информации, отвечающей требованиям полноты, достоверности и своевременности, эффективно можно осуществлять планирование, организацию исполнения, контроль и регулирование административных и бизнес-процессов. Как ни странно, но, несмотря на широкое распространение терминов «социально-экономический мониторинг» и «мониторинг социально-экономического развития» как в нормативных правовых источниках, так и в научной литературе, раскрытию их сущности посвящено немного работ. Принято считать, что эти категории интуитивно понятны и предопределены. Вместе с тем при углубленном рассмотрении оказывается, что в данном вопросе, равно как и при рассмотрении мониторинга вообще, отсутствует детерминированность и ясность. Основываясь на этом в настоящем исследовании предпринимается попытка моделирования системы мониторинга социально-экономического развития территорий на примере муниципальных образований.

**От сущности мониторинга к функциональной модели.** При управлении социально-экономическим развитием муниципальных образований можно выделить несколько субъектов, заинтересованных в получении своевременной и достоверной информации о состоянии соответствующих объектов. В первую очередь к ним могут быть отнесены органы государственной власти, осуществляющие реализацию дифференцированной политики поддержки и стимулирования, и органы местного самоуправления. Информационно-аналитическое обеспечение их деятельности по указанным вопросам целесообразно рассматривать в контексте построения системы мониторинга социально-экономического развития территориальных образований, которая опирается на обобщенную модель, соотношенную с классом социальных систем в целом. Сразу необходимо оговориться, что содержательное наполнение разрабатываемых моделей возможно лишь после конкретизации орга-

низационных и нормативных правовых аспектов, характеризующих данное предметное поле, что выходит за рамки настоящего исследования и является самостоятельной задачей. В связи с этим рассмотрение вопроса будет осуществляться на достаточно высоком уровне абстракции, что тем не менее позволяет соотносить основные положения со спецификой объекта управления в виде социально-экономического развития муниципальных образований.

Принимая во внимание сложившееся многообразие в понимании мониторинга и его неоднозначную природу по отношению к разным отраслям знаний, предлагается раскрытие сущности рассматриваемой категории в следующей редакции. Итак, мониторинг – это специальным образом сформированный инструмент информационного обеспечения управленческой деятельности для контроля, оценки, анализа и прогнозирования развития объекта управления на основе непрерывного процесса, состоящего из процедур жизненного цикла переработки информации (сбор, обработка, хранение, отображение и распространение), каждая из которых, в свою очередь, реализуется через свойственные ей методические приемы.

Мониторинг как инструмент управления реализуется только в определенной упорядоченности и взаимосвязи. Их внутреннее содержание можно раскрыть, используя формальную модель декомпозиции социально-экономических систем, в которых согласно [1] выделяют следующие элементы: процесс деятельности, предмет деятельности, конечный продукт, средства деятельности, субъекты деятельности. На этой основе формируется структурно-функциональная модель системы мониторинга (табл. 1).

Таблица 1

Элементы системы мониторинга

Формальный элемент декомпозиции	Элемент системы мониторинга
Процесс деятельности	Мониторинговые процедуры
Предмет деятельности	Исходная информация, получаемая из источников
Средства деятельности	Методический инструментарий реализации мониторинговых процедур Организационный регламент Программно-технические средства
Субъекты деятельности	Носители мониторинговых функций
Конечный продукт	Результаты мониторинга

Мониторинговые процедуры вытекают из модели жизненного цикла обработки информации. Фактически здесь идет речь о функциональной системе мониторинга. В качестве графического представления декомпозиции рассматриваемого процесса используется IDEF0-модель (рис. 1). Каждый из блоков, изображенных на рис. 1, в свою очередь также можно декомпонировать.

Показатели мониторинга представляют совокупность базовых (предмет деятельности) и расчетных величин (конечный продукт), обеспечивающих представление о социально-экономической системе и изменениях в ней. Конкретный перечень формируется с учетом целей управления, критериев их эффективности и используемых методик контроля, оценки, анализа и прогноза мониторинруемого объекта (социально-экономического развития).

Организационный регламент призван нормативно распределить полномочия (права, обязанности и ответственность) между участниками реализации мониторинговых процедур, а также закрепить механизмы взаимодействия между ними. Методический инструментарий содержит описание конкретных способов сбора, обработки, хранения и отображения информации.

Программно-технические средства позволяют повысить эффективность функционирования всей системы. Более того, именно посредством применения современных информационных технологий мониторинг, в том числе и социально-экономический, выходит на качественно иную ступень в своем развитии посредством расширения сервисных потенциалов реализации каждого этапа. В частности, существенно могут быть облегчены расчеты показателей, увеличены объемы хранимой и перерабатываемой информации, а также выведены на новый уровень презентационные возможности. Носителями мониторинговых функций выступают различные организации, структурные подразделения, а также отдельные сотрудники.

Несмотря на общую прозрачность такого представления, вопрос внутреннего содержания обозначенных компонентов не является тривиальным. В связи с этим предлагается сформулировать перечень нормативных требований к организации системы мониторинга. Пусть  $P = \{p_i\}$ ,  $Z = \{z_j\}$  –

множества мониторинговых процедур и обеспечивающих частей системы мониторинга соответственно. Последовательно соотнося элементы  $P$  и  $Z$ , получается детализация рассматриваемых множеств системы мониторинга. Каждой такой комбинации  $\{p_i z_j\}$  можно сопоставить требования (табл. 2).

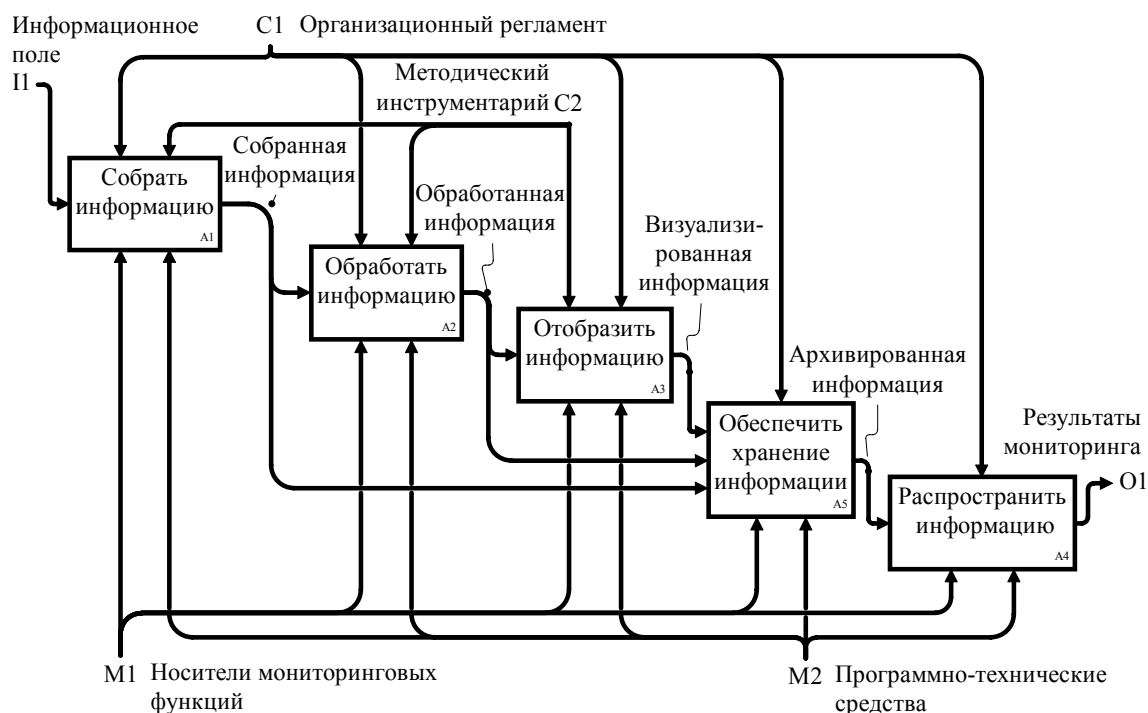


Рис. 1. Декомпозиция А-0 «Провести мониторинг социально-экономического развития муниципальных образований»

Таблица 2

**Каркас нормативной модели требований к организации системы мониторинга социально-экономического развития**

Этап процесса мониторинга	Элементы системы мониторинга				
	1. Программно-технические средства	2. Методический инструментарий	3. Организационный регламент	4. Субъект деятельности	5. Мониторимые показатели (исходная и преобразованная информация)
1. Сбор					
2. Обработка					
3. Отображение					
4. Хранение					
5. Распространение					

Однако не для всех комбинаций их целесообразно формулировать. Например, при организации мониторинга разнообразных объектов, имеющих физическую природу (метеорологический, технологический мониторинг), существенными являются требования к программно-техническим средствам на этапе сбора информации, в то время как при организации системы мониторинга социально-экономического развития территорий эти ограничения не являются столь важными.

После чего на содержательном уровне раскрывается суть требований. Такой взгляд позволяет охватить все возможные аспекты при проектировании сложных социально-экономических систем. В качестве иллюстрации модели можно привести следующие примеры синтеза требований:

- $p_3z_1$  – требования к возможностям программного обеспечения по визуализации результатов мониторинга;
- $p_2z_2$  – требования к адекватности применяемых методик оценки, анализа и прогноза социально-экономического развития;
- $p_1z_3$  – инструкции по технологии взаимодействия носителей мониторинговых функций (заказчиков, с одной стороны, регистраторов, интервьюеров и т.п. – с другой, носителей информации – с третьей) на этапе сбора информации;
- $p_2z_4$  – квалификационные и профессиональные требования к сотрудникам, осуществляющим оценку, анализ и прогноз социально-экономического развития.

**Динамическое моделирование мониторинга социально-экономического развития муниципальных образований.** Разработанная структурно-функциональная модель дает представление об организации мониторинга, сборе, обработке и хранении информации, не учитывая при этом динамику процесса. Использование математического аппарата сетей Петри позволяет перейти к динамическому моделированию мониторинга социально-экономического развития муниципальных образований и оптимизации деятельности соответствующих служб по ведению мониторинга.

Классическая структура сетей Петри определяется позициями, переходами, входной и выходной функцией и формально описывается следующим образом [2]:

$$C = (P, T, I, O), \quad (1)$$

где  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  – конечное множество позиций,  $n \geq 0$ ;  $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$  – конечное множество переходов,  $m \geq 0$ ;  $I: T \rightarrow P^\infty$  – входная функция (отображение из переходов в комплекты позиций);  $O: T \rightarrow P^\infty$  – выходная функция (отображение из переходов в комплекты позиций).

Множество позиций и множество переходов не пересекаются:  $P \cap T = \emptyset$ , мощность множества  $P$  есть число  $n$ , а мощность множества  $T$  есть число  $m$ . Произвольный элемент  $P$  обозначается символом  $p_i, i = 1, \dots, n$ , а произвольный элемент  $T$  – символом  $t_j, j = 1, \dots, m$ .

Поскольку процесс мониторинга предполагает наличие различных временных характеристик, наиболее важными из которых являются время на сбор, время на обработку, время на предоставление (распространение) информации, в данном случае целесообразно применение аппарата временных сетей Петри, основанных на введении времени срабатывания конкретного перехода, для чего необходимо ввести время начала и конца срабатывания перехода, время длительности срабатывания, а также время раннего и позднего срабатывания. Использование раскрашенных или цветных временных сетей Петри позволяет исследовать технологию мониторинга до момента его практической реализации. Кроме того, поведение CPN-модели может быть проанализировано посредством компьютерного моделирования.

Для цветной сети Петри функции  $I$  и  $O$  являются многомерными, т.е.  $I = (I^1, I^2, \dots, I^L)$ ,  $O = (O^1, O^2, \dots, O^L)$ , где  $L = |D|$ ,  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_L\}$  – множество цветов (пометок). На множестве  $P$  задается функция  $\mu(P)$  как совокупность целых неотрицательных чисел, определяющих количество цветных фишек (маркеров) в позициях. В этом случае CTPN определяется следующей шестеркой:  $C = (P, T, I, O, \mu, \tau)$ , где  $\tau$  – один из вариантов способа задания временных параметров элементов множества  $T$ . При этом временные параметры задаются следующим образом:

- продолжительность выполнения каждого задания мониторинга и время начала выполнения первого задания;
- продолжительность выполнения каждого задания и время окончания выполнения последнего задания;
- продолжительность выполнения каждого задания и время начала и окончания выполнения каждого из них.

В нашем случае временные параметры будем задавать длительностью исполнения задания, временем начала и завершения его исполнения. В общем случае моделирование процесса мониторинга предполагает изменение следующих исходных условий (в терминах сети Петри) [3, 4]:

- периодическое изменение состояния CTPN путем изменения маркировки фишек;
- изменение пользователем временных либо ресурсных параметров.

Решение первой задачи заключается в следующем. Необходимо использовать алгоритм маркировки (разметки) сетей Петри, при этом начальная маркировка  $\mu_0$  соответствует начальному состоянию сети. Переход сети считается разрешенным (произойдет некоторое событие), а соответствующее задание – активным, если все его условия соблюдены (имеются все необходимые фишки).

Условия срабатывания перехода могут быть заданы следующим образом: в выходных позициях перехода фишки появляются сразу после того, как будет отмечено выполнение любой из работ, входящих в соответствующий данному переходу этап деятельности, вместе с тем отметка об исполнении остальных работ данного этапа осуществляется в течение некоторого времени, отведенного для данного этапа. Это необходимо для избегания тупиковых ситуаций по времени срабатывания для следующих параллельных переходов. В случае истечения регламентного времени выполнения этапа и наличия в нем невыполненных работ (задание не исполнено в срок) пользователь сети имеет возможность самостоятельно принять решение о дальнейших действиях. Окончание этапа порождает новую маркировку  $\mu$  позиций и определяет условия активизации следующих переходов.

С точки зрения наглядности восприятия сети Петри и качественного анализа моделируемых процессов особое место занимает графическое представление сетей Петри. Классическая структура сети Петри состоит из двух типов узлов: символ  $\bigcirc$  – круг, являющийся позицией, символ  $|$  – планка, являющаяся переходом. С помощью ориентированных дуг происходит соединение позиций и переходов. Дуга, направленная от позиции  $p_i$  к переходу  $t_j$ , определяет позицию, которая является входом перехода. При этом условия, т.е. логические состояния системы, принимающие значения ИСТИНА или ЛОЖЬ, моделируются позициями, а события или действия, происходящие в системе, – переходами. Выполнение условия (значение ИСТИНА) представляется фишкой в позиции, которая соответствует данному условию, при этом запуск перехода удаляет разрешающие фишки, определяющие выполнение так называемых предусловий, и образует новые фишки, которые определяют выполнение постусловий. Следует отметить, что в сети Петри непримитивные события представляются в виде прямоугольников, что позволяет упростить некоторые виды сетей Петри.

При переходе от диаграммы IDEF0 к сети Петри функциональный блок диаграммы заменяется фрагментом сети Петри, имитирующим работу этого блока. При этом позициями сети становятся возможные потоки информации или объекты системы, подвергаемые воздействию, управляющие данные, механизмы (исполнитель или необходимый инструментарий), а также результат воздействия на входящие потоки.

С учетом введенных определений представим цветную временную сеть Петри, описывающую динамическую модель ведения мониторинга (рис. 2). Исходя из функциональной модели (см. рис. 1), взаимосвязи элементов предложенной сети Петри описываются следующим образом:

$t_1$  – собрать информацию:  $I(t_1) = \{p_1, p_2, p_3\}$  – входная функция, где  $p_1$  – информационное поле;  $p_2$  – носители мониторинговых функций;  $p_3$  – программно-технические средства;  $O(t_1) = \{p_4, p_2, p_3\}$  – выходная функция, где  $p_4$  – собранная информация;

$t_2$  – обработать информацию:  $I(t_2) = \{p_4, p_2, p_3\}$ ,  $O(t_2) = \{p_5, p_2, p_3\}$ , где  $p_5$  – обработанная информация;

$t_3$  – отобразить информацию:  $I(t_3) = \{p_5, p_2, p_3\}$ ,  $O(t_3) = \{p_6, p_2, p_3\}$ , где  $p_6$  – визуализированная информация;

$t_4$  – обеспечить хранение информации – данный переход сработает в случае наличия фишек в одной из позиций:  $p_4$ ,  $p_5$  или  $p_6$ , а также при наличии фишек в позициях  $p_2$  и  $p_3$ :  $I(t_4) = \{p_4, p_5, p_6, p_2, p_3\}$ ,  $O(t_4) = \{p_7, p_2, p_3\}$ , где  $p_7$  – архивированная информация;

$t_5$  – распространить информацию:  $I(t_5) = \{p_7, p_2, p_3\}$ ,  $O(t_5) = \{p_8, p_2, p_3\}$ , где  $p_8$  – результат мониторинга.

В результате построения данной сети Петри получаем цветную временную сеть со свободным выбором. Позиция  $p_4$  сети может иметь различную смысловую нагрузку (в зависимости от цвета метки), что позволяет использовать ее для запуска разных переходов:

- если  $p_4$  описывает информацию, которую необходимо подвергнуть дополнительной обработке, то информация поступит на вход перехода  $t_2$ ;

▪ если  $p_4$  содержит информацию, для которой необходимо обеспечить сохранность (без предварительной обработки), то такая информация поступит на вход перехода  $t_4$ .

По аналогии различные характеристики могут быть заданы для позиции  $p_5$ :

▪ если  $p_5$  описывает обработанную информацию, которую необходимо визуализировать, то информация поступит на вход перехода  $t_3$ ;

▪ если  $p_5$  содержит информацию, для которой необходимо обеспечить сохранность (без визуализации), то такая информация поступит на вход перехода  $t_4$ .

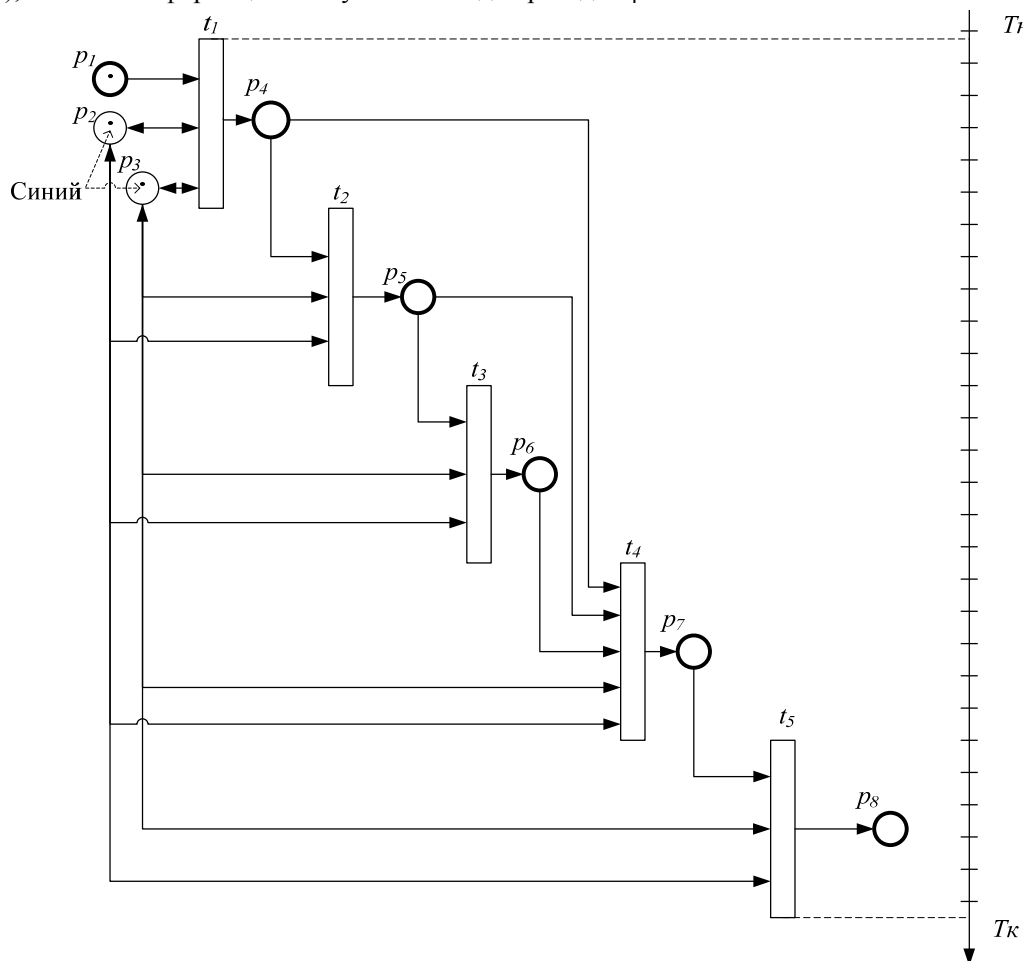


Рис. 2. Сеть Петри, описывающая процесс мониторинга социально-экономического развития муниципальных образований

Временная составляющая сети  $\tau_i$  имеет важную смысловую нагрузку. Так, время срабатывания перехода  $t_3$  напрямую зависит от продолжительности выполнения мероприятий по сбору и обработке информации – переходов  $t_1$  и  $t_2$ . Наконец, переход  $t_5$ , сработает только после выполнения задач на предыдущих переходах и появления фишек в позициях  $p_7$ ,  $p_2$  и  $p_3$ .

При необходимости можно провести динамическое моделирование всех выделенных этапов мониторинга социально-экономического развития муниципального образования. Фактически такие сети Петри будут являться декомпозициями соответствующих переходов базовой сети.

Использование существующих в настоящее время программных средств, имитирующих работу цветной временной сети Петри (например, Design/CPN), позволяет, манипулируя временными составляющими сети и изменяя количество и цвет фишек в позициях, моделировать различные ситуации, возникающие в процессе ведения мониторинга. Так, например, появляется возможность руководителю организации, отвечающему за ведение мониторинга, использующему данную динамическую модель, распределить людские и временные ресурсы для выполнения данной задачи

в зависимости от количества собираемой информации, необходимого времени на ее обработку и вида носителей мониторинговых функций.

**Заключение.** Предложенные в статье структурно-функциональная и динамическая модели могут быть взяты за основу при постановке задачи и разработке программного обеспечения информационной технологии поддержки деятельности органов государственной власти и местного самоуправления в части ведения мониторинга социально-экономического развития муниципальных образований.

Использование математического аппарата сетей Петри для моделирования описанной выше задачи способно облегчить проведение мониторинга, являясь вспомогательным инструментарием для специалистов, ответственных за его ведение.

Эмуляция построенной сети Петри (рис. 2) при решении конкретных проблемных ситуаций с включением в ее состав дополнительных позиций и переходов позволяет руководителю определять, в частности, состав, количество и загрузку исполнителей, занятых ведением мониторинга. Использование результатов моделирования позволяет повысить степень обоснованности принятия решений руководителем при ведении мониторинга.

Работа выполнена в рамках проекта «Методы и средства информационно-аналитической поддержки принятия решений в сфере территориального социально-экономического развития и управления по результатам» Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы.

#### *Литература*

1. Перегудов Ф.И. Основы системного анализа: учеб. – 2-е изд., доп. / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тара-сенко. – Томск: Изд-во НТЛ, 1997. – 396 с.
2. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем: пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
3. Ехлаков Ю.П. Теоретические основы автоматизированного управления: учебник. – Томск: Том. гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, 2001. – 337 с.
4. Тарасенко В.Ф. Нелинейные математические модели и информационные системы в финансовом менеджменте / Под ред. В.З. Ямпольского – Томск: Изд-во ТПУ, 1998. – 191 с.

---

#### **Сидоров Анатолий Анатольевич**

Канд. экон. наук, доцент каф. автоматизации обработки информации (АОИ) ТУСУРа

Тел.: 8 (383-2) 41-47-01

Эл. почта: saa@muma.tusur.ru

#### **Сенченко Павел Васильевич**

Канд. техн. наук, доцент каф. АОИ, декан факультета систем управления ТУСУРа

Тел.: 8 (383-2) 70-15-46

Эл. почта: pvs@tusur.ru

Sidorov A.A., Senchenko P.V.

#### **Structural-functional and dynamic models of monitoring of social and economic development in municipalities**

The paper describes the structural-functional and dynamic monitoring model of socio-economic development of municipalities based on a formal representation of the life cycle of information processing. We developed a tool to determine the requirements to ensure the effective functioning of information and analytical support management in government. The directions of the development of the developed models are determined.

**Keywords:** monitoring of social and economic development, structural-functional model, dynamic model, Petri nets.