

## МОДЕЛЬ РАЗВИТИЯ ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЙ НА ПРЕДПРИЯТИИ БЕЗ УЧЕТА УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ

Упрощенный способ прогнозирования развития идентифицированной проблемы сводится к выделению наиболее значимых для нее "сигнальных" характеристик или всех характеристик тех точек контроля, с которыми связана проблема, после чего происходит сбор данных и для каждой характеристики строится прогнозная модель с применением методов анализа и прогноза временных рядов. Иными словами, эксперты фокусируются на тех характеристиках, которые послужили сигналом о проблемной ситуации, и допускают инерционность развития ситуации именно на этих характеристиках [10].

В [3] указывается на необходимость разработки новых методологических подходов и методов к прогнозированию состояния объектов (ситуаций) ввиду неразрешимости проблемы познания объекта посредством повышения точности известных методов прогнозирования. Эта проблема и ограничивает использование методов прогнозирования в блоке динамической оценки обстановки [B6] механизма выявления проблемных ситуаций на предприятии, описанного в работе [19]. Тем не менее использование в данном механизме методов анализа временных рядов не исключается. Они могут точно применяться в блоке [B6] для выявления тенденций конкретных явлений, описываемых одним или несколькими переменными (характеристиками). Это и обусловило актуальность настоящей работы, целью которой является разработка научных положений к построению распределенной динамической модели развития проблемных ситуаций на

предприятии без учета управляющих воздействий.

Целью блока [B6] является получение адекватного образа будущего – то, во что перейдет текущая ситуация в ходе своего развития под воздействием множества факторов, в "... многовариантное описание, накрывающее все многообразие будущего таким конечным набором траекторий, вероятностное распределение которых имеет высокий уровень правдоподобия" [3]. Образ будущего ситуации из [B5] и образ ситуации из [B6] совместно образуют обстановку. Отсюда следует, что данный подход реализует экстраполяционные и экспертно-аналитические методы. К числу первых необходимо отнести методы построения трендовых и авторегрессионных моделей [4].

Следовательно, первым способом получения образа будущего ситуации является прогноз характеристик  $\{X_{i,v,k}^{v,k}\}$  в результате построения трендовой или авторегрессионной модели. На основе прогнозных значений характеристик  $\{X_{i,v,k}^{v,k}\}$  осуществляется идентификация ситуации  $S^{fore}(t^{fore})$  в блоке [B5] механизма выявления проблемных ситуаций. Если данная ситуация является новой, то информация передается в контур распознавания образов ситуаций ([B1]-[B2]-[B3]-[B4]), и руководство предприятия получает качественную интерпретацию образа ожидаемой (прогнозируемой) к моменту времени  $t^{fore}$  ситуации  $S^{fore}(t^{fore})$ .

После этого в рамках реализации механизма выявления проблемных ситуаций на предприятии ЛПП переходит к формализации и анализу обстановки (глобальной ситуации)  $O(\hat{S}, S^{fore}(t^{fore}))$ .

Процедура построения трендовой модели не имеет общепризнанного и уникального алгоритма. Тем не менее существуют указания к проверке наличия определенных условий и, исходя из них, правила и схемы построения трендовой модели [2; 7; 9]. Рассмотрим последовательность шагов при построении трендовой модели для количественных характеристик.

*Шаг 1.* Первоначально в точках контроля  $\{TK_k^v\}$  происходит сбор данных по характеристикам, при этом возможен отбор по некоторому условию, устраняются неточности, восстанавливаются пропущенные значения, корректируются полученные значения. В итоге формируются предварительные временные ряды характеристик  $\{X_{i,v,k}^{v,k}\}$ .

*Шаг 2.* Полученные временные ряды могут подвергаться операциям агрегирования посредством увеличения периодов их измерения, сглаживания, фильтрации, исключения шумов и другим операциям обработки и анализа данных [2; 7; 9]. Особое внимание следует уделить определению длины временного ряда. Результатом данного шага является совокупность временных рядов.

*Шаг 3.* Необходима также проверка ряда на случайность для характеристик, которые отслеживаются в короткие периоды времени и которым присущи значительные колебания, с помощью методов поворотных точек, критерия ранговой корреляции, теста Уальда-Вулфовитца и др. [1; 4].

*Шаг 4.* Проверка временного ряда на стационарность, автокорреляцию, сезонность и цикличность.

*Шаг 5.* Построение модели остатков.

*Шаг 6.* Построение трендовой модели и оценка ее пригодности.

*Шаг 7.* Вычисление прогнозных значений характеристик с помощью построенных моделей.

Обеспечение многовариантности образа будущего ситуации требует включения в блок [B6] инструмента разветвления траектории каждой характеристики на варианты.

Многовариантность развития ситуации достигается путем включения дополнительной случайной величины в трендовую или авторегрессионную модели по каждой характеристике и многократного прогона модели. Иным способом построения мультитрендовой модели является включение фиксированных эффектов на основе pretest-оценивания [3].

Однако структура объектной модели выявления проблемных ситуаций  $\Omega_1$  обуславливает то, что эксперты работают с панелями данных (panel data) – пространственно-временном отображении процессов (объектов), которые являются структурными элементами ситуационных центров. Технология создания и внедрения в практику функционирования промышленных предприятий описана в [11].

Однако не всегда можно получить траекторию развития ситуации за счет прогнозной модели, содержащей исключительно количественные показатели. Более того, точное значение показателей (в совокупности – ситуации) во многих случаях не несет никакой смысловой нагрузки, то есть не известен характер или тип поведения системы, а также характер состояния, в которое система перейдет. Поэтому прогнозная модель должна реализовывать процедуру распознавания ситуаций.

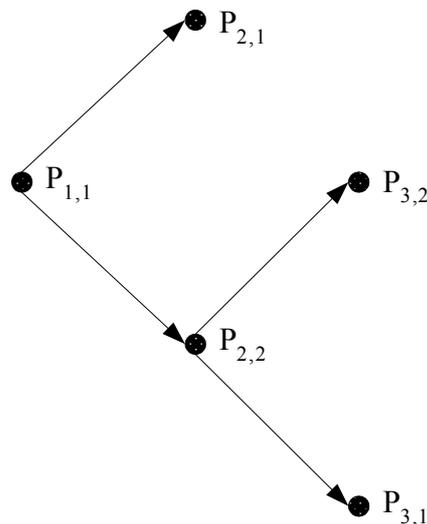
Вторым способом получения образа будущего ситуации является сценарное

исследование (прогнозирование) ситуации. Понятие сценария разностороннее, поскольку определяется подходом и методом прогнозирования. Это отражение процессов, протекающих внутри ситуации; последовательность событий, отражающая развитие ситуации или переход объекта из текущего или заданного состояния в будущее; система содержательных предпосылок, на основе которой формируется вариант развития; совокупность тенденций, характеризующих текущую ситуацию [6-8].

Каждый сценарий представляется сетевым графиком, вершины которого соответствуют фактам, а дуги – связям "причина-следствие", "часть-подчасть",

"цель-подцель" [12]. Например, если замечена проблема в снабжении сырьем и материалами, сетевой график сценария проблемы (дерево проблемы), реализующий отношения "причина-следствие", может иметь вид, как показано на рис. 1 [13]. На практике предприятие может иметь несколько различных проблем, которые могут иметь общие признаки-причины, находящиеся на стыке различных сфер деятельности (рис. 2).

Каждая из вершин графов на рис. 1 и 2 может быть проанализирована с точки зрения причин появления факта, который отображает эта вершина, и представлена также в виде сетевого графика проблемы.



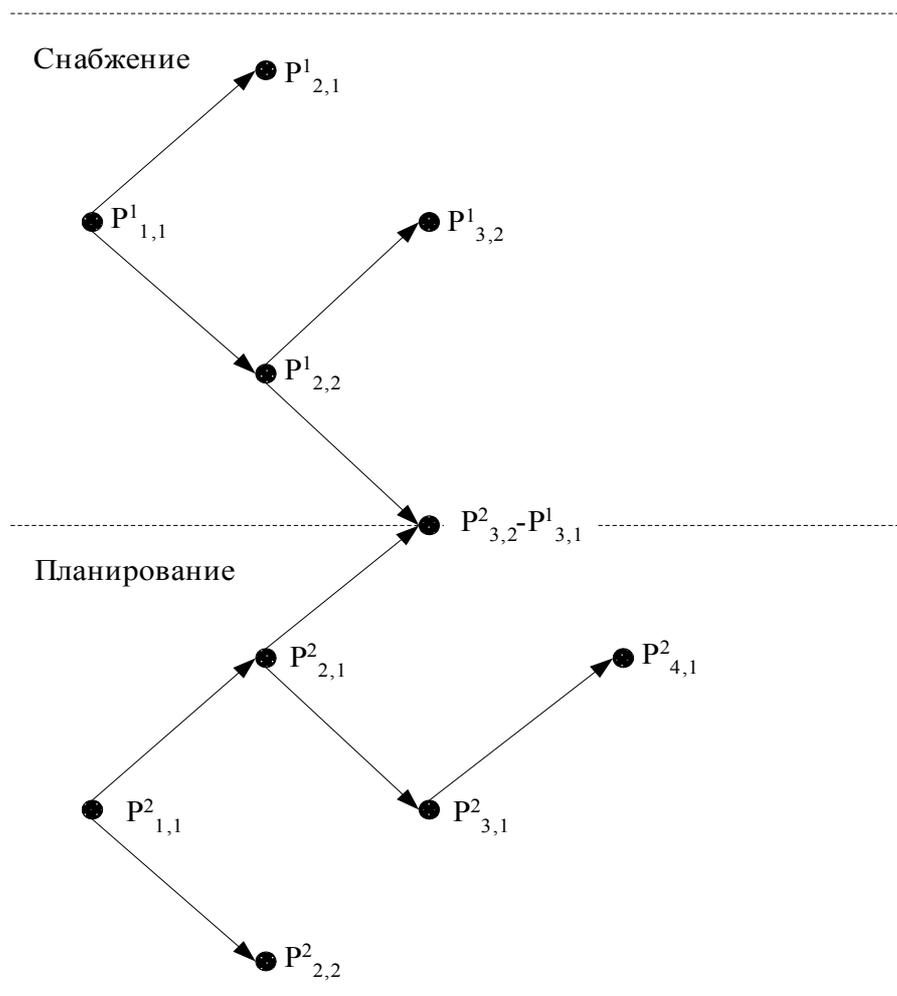
*Обозначения:* P<sub>1,1</sub> – происходят срывы поставок сырья и материалов; P<sub>2,1</sub> – ненадежный поставщик; P<sub>2,2</sub> – неудовлетворительно выполняет свои обязанности менеджер по снабжению; P<sub>3,1</sub> – неудовлетворительная система заинтересованности и поощрения работников; P<sub>3,2</sub> – менеджер по снабжению не обладает необходимой квалификацией.

*Рис. 1. Пример дерева проблемы в снабжении сырьем и материалами*

Для сетевых графиков нижнего уровня декомпозиции могут быть построены имитационные модели, позволяющие экспериментально установить значения индикаторов (корневых вершин графиков). Эти значения используются в имитационных моделях высшего уровня декомпозиции

проблемы. При этом осуществляется вложение моделей нижнего уровня (подмоделей) в модель верхнего уровня (главную модель).

Одним из элементов модели развития ситуации без управляющих воздействий является синтез знакового орграфа –



Обозначения:  $P^2_{1,1}$  – планово-экономический отдел не справляется с заданием в установленный срок;  $P^2_{2,1}$  – нехватка сотрудников при выполнении производственной программы;  $P^2_{2,2}$  – перегрузка оборудования при выполнении производственной программы;  $P^2_{3,1}$  – штатное расписание не соответствует реальным потребностям в персонале;  $P^2_{4,1}$  – в штатном расписании неадекватно поставлены требования к квалификации персонала.

Рис. 2. Пример пересечения деревьев проблем

диаграммы причинно-следственных связей, определенных природой экономических процессов на предприятии, в которой реализуются контуры обратной связи, обеспечивающие возможность появления резонанса – скачкообразных изменений [15]. Орграф представляет собой когнитивную карту ситуации, которая отражает влияние факторов друг на друга [6]. От когнитивной карты, описывающей связи по типу "если..., то..." переходят к

построению когнитивной модели, в которой данные связи между факторами формализуются в виде уравнений, содержащих как количественные, так и качественные характеристики. Последним приписываются значения по шкале соответствующих лингвистических переменных. Среди базисных характеристик (факторов) выделяются регулирующие, то есть те, изменения которых повлияют на конечные характеристики (индикаторы),

по изменению которых можно судить о развитии ситуации.

Многовариантность развития ситуации обеспечивается различными изменениями базисных характеристик. Сценарий развития ситуации – это траектория. Совокупность сценариев отражает различные варианты развития ситуации, каждый из которых представлен траекторией. Область, содержащая все полученные траектории, является коридором, в рамках которого может эволюционировать ситуация, сложившаяся в настоящее время. Достоинством такого метода экстраполяции ситуации является то, что на выходе когнитивной модели получаем описание будущей ситуации, которое позволяет идентифицировать и классифицировать ее.

Объектная модель  $\Omega_1$  позволяет структурно и функционально описать ситуацию на предприятии, выделить ее составные части. В результате реализации блоков распознавания и идентификации механизма выявления проблемных ситуаций на вход блока динамической оценки обстановки для прогноза развития ситуации посредством когнитивной модели поступают шкалы характеристик, образ текущей ситуации, множество факторов, не вошедших в  $\Omega_1$  и возникающих в процессе производственно-хозяйственной деятельности предприятия.

С позиции отражения субъективной интерпретации изменения характеристик и факторов ситуации целесообразно использовать понятие когнитивного консонанса, который используется для определения несоответствия элементов знаний друг друга [5]. Степень когнитивного консонанса  $cons_{in}(t)$  определяется из соотношения

$$cons_{in}(t) = \frac{|pr_{in}^+(t) - pr_{in}^-(t)|}{|pr_{in}^+(t)| + |pr_{in}^-(t)|},$$

$$0 \leq cons_{in}(t) \leq 1,$$

где  $t$  – шаг моделирования. Консонанс характеристики характеризует уверенность эксперта в приращении значе-

ния  $pr_{in}(t)$  характеристики  $X_{ij}$ . При  $cons_{in}(t) \approx 1$ , т.е.  $|pr_{in}^+(t)| \gg |pr_{in}^-(t)|$  или  $|pr_{in}^-(t)| \gg |pr_{in}^+(t)|$  уверенность эксперта в значении характеристики  $pr_{in}(t)$  максимальна, а при  $cons_{in}(t) \approx 0$ , т.е.  $|pr_{in}^-(t)| \approx |pr_{in}^+(t)|$  – минимальна.

Среди традиционных казуальных моделей, предназначенных для определения изменения проблемной ситуации, выделяются регрессионные модели, позволяющие вычислить значение выходной переменной (индикатора ситуации) при отклонении входных переменных.

Через экономические системы протекают большие потоки ресурсов, в том числе и информационных, поэтому они являются сильно неравновесными, что ведет к появлению сложного динамического поведения, требующего особых приемов к управлению, чтобы удержать систему в допустимых пределах отклонения от "равновесной траектории развития" [16]. Поэтому описание деятельности предприятия должно учитывать динамический и информационный аспекты, что ведет к постановке проблемы совместного воздействия различных факторов и информации на систему управления в динамике на основе анализа отклонений ключевых показателей развития предприятия от оптимальных (нормативных, равновесных) значений.

Инструментом динамического описания и анализа процессов на предприятии с последующим выявлением проблемной ситуации, картины и обстановки является

имитационное моделирование, которое позволяет учитывать выделенные параметры поведения системы, экспериментировать с системой, оценивать и сравнивать альтернативные пути ее развития. Его применение целесообразно в случаях, когда нет простого аналитического решения, при этом система ведет себя не хаотически, и ее поведение зависит от конкретных факторов, как внешних, так и внутренних, а также в случаях, когда сложность взаимосвязей между элементами системы не позволяет точно определить влияние на нее изменений того или иного фактора.

В качестве базового метода имитационного моделирования развития ситуации выбран аппарат системной динамики Дж. Форрестера [17; 18]. Динамическая модель развития проблемной ситуации без управляющих воздействий по составу является комплексной, и ей присваивается разряд 1 уровня. Ее составные части представляют собой модели 2 уровня (модули общей модели), каждая из которых отвечает за одно из направлений отслеживания. Модели 2 уровня могут содержать модели 3 уровня, которые описывают процессы в точках контроля.

Соподчиненность моделей и обеспечение взаимосвязи между моделями одного и того же уровня в общей имитационной модели обуславливает необходимость выделения *междисциплинарных* показателей  $\|Y^m\|$ . Следует отметить, что в качестве подобных показателей могут быть как характеристики, так и интегральные показатели в точках контроля, выделенные в  $\Omega_1$ .

Для синтеза имитационной модели недостаточно использование только показателей из  $\Omega_1$ . Адекватное и достаточное отображение ситуации и

динамики ее развития требует включения дополнительных переменных  $\|\Phi\|$ , соответствующих *факторам*, которые воздействуют на процессы и результаты деятельности предприятия. Формализация воздействия факторов (определение математической функции, правил воздействия, динамического ряда и т.п.) происходит независимо от синтеза имитационной модели на основе применения различных управленческих подходов, методик, экономико-математических методов и моделей. При построении имитационной модели перед специалистами стоит задача включения выделенных и формализованных факторов без искажения их сущности и потери специфических черт.

Модель содержит *комплексные* переменные  $\|CV\|$ , которые задаются в виде моделей. В отдельную группу выделяются *трендовые* переменные  $\|CVT\|$ , которые задаются в виде тренда или динамического ряда, значения уровней которого получены в ходе независимого прогнозирования с использованием методов анализа временных рядов.

Часть переменных относится к *директивным* (плановым) показателям  $\|OPI\|$ , которые могут задаваться жестко – конкретным числом, или менее жестко – интервально. Отметим, что среди факторов или директивных показателей следует выделять *критические* переменные (индикаторы)  $\|CPI\|$ , отклонения в которых не допускается, поскольку резко ухудшается общее состояние предприятия. Более того, при появлении отклонения по одной или нескольким критическим переменным проблемная или неproblemная ситуация может моментально перейти в чрезвычайную (кризисную).

Аппарат системной динамики позволяет учитывать в модели временные *лаги* – задержки событий в

процессах деятельности предприятия, очерченных предметной областью модели.

С точки зрения ситуационного управления на предприятии возможны случаи, когда при наступлении определенных событий системой управления генерируется сигнал об обязательном выполнении четко определенных действий или запуске процессов. Это явилось основой для включения в аппарат системной динамики Дж. Форрестера нового элемента. Так, переменные, которые автоматически вырабатывают данный сигнал, исходя из прописанных выше условий, будем называть *свитчером*  $\|SW\|$ .

Неопределенность ситуации, выраженная в слабом понимании причин возникновения определенного события и его последствий, приводит к тому, что система управления не может однозначно принять решение о необходимости выполнения конкретных мер. Поэтому в настоящей работе предложены новые переменные имитационной модели, которые, получая импульс об изменении факторов и характеристик, вырабатывают сигнал к определенным действиям, распределенным во времени и имеющим относительно меньшую величину воздействия по сравнению с величиной импульса. Такие переменные далее определим как *резисторы*  $\|RS\|$ .

Динамическая модель может учитывать переменные-индикаторы  $\|IND\|$ , как интегральные, так и локальные, которые могут не входить в объектную модель  $\Omega_1$ , но предоставляют дополнительную информацию для оценки ситуации.

Образуемые в системно-динамической модели *петли* подразделяются на стратегические, тактические и оперативные. Оперативные петли

отображают динамику процессов, в рамках которых наступление события соотносится с дискретом моделирования. Тактические и стратегические изменения происходят за длительный промежуток времени, охватывающий большое количество дискретов моделирования. Отсюда следует, что необходимо правильное разграничение и сопоставление процессов во времени.

Начальное состояние системы, то есть начальные значения характеристики в динамической модели, определяется идентифицированным образом текущей ситуации на предприятии, что является результатом блока [B5] механизма выявления проблемных ситуаций на предприятии.

В каждую подмодель (модуль), привязанную к одному из направлений или точке контроля, включаются стоимостные показатели, которые служат входными источниками данных модуля (направления) "Финансы" для расчета характеристик и интегральных финансовых показателей, а в конечном итоге – для оценки эффективности сферы "Финансы".

Различные сценарии являются результатом различных допущений, предположений и прогнозов относительно выделенных типов переменных в динамической модели развития проблемной ситуации без управляющих воздействий.

Конечной целью реализации модели является идентификация и выбор оптимального сценария и определение доверительного коридора. В общем виде структура динамической модели развития ситуации без управляющих воздействий представлена на рис. 3.

Таким образом, в работе предложена распределенная динамическая модель развития проблемных ситуаций на предприятии без учета управляющих воздействий, в

основу которой положены процедуры синтеза имитационной модели прогнозирования ситуаций, построенной с использованием аппарата системной динамики Дж. Форрестера и имеющей иерархическую модельную структуру. Реализация данной модели позволяет получить сценарии развития текущей ситуации при неизменном режиме управления, определить образ будущего ситуации и оценить обстановку на предприятии.

Реализация динамической модели развития проблемных ситуаций на предприятии без учета управляющих воздействий потребовала логического развития аппарата системной динамики Дж. Форрестера посредством введения свитчей – переменных имитационной модели, которые автоматически вырабатывают сигнал об обязательном выполнении четко определенных действий или запуске процессов на предприятии, а также

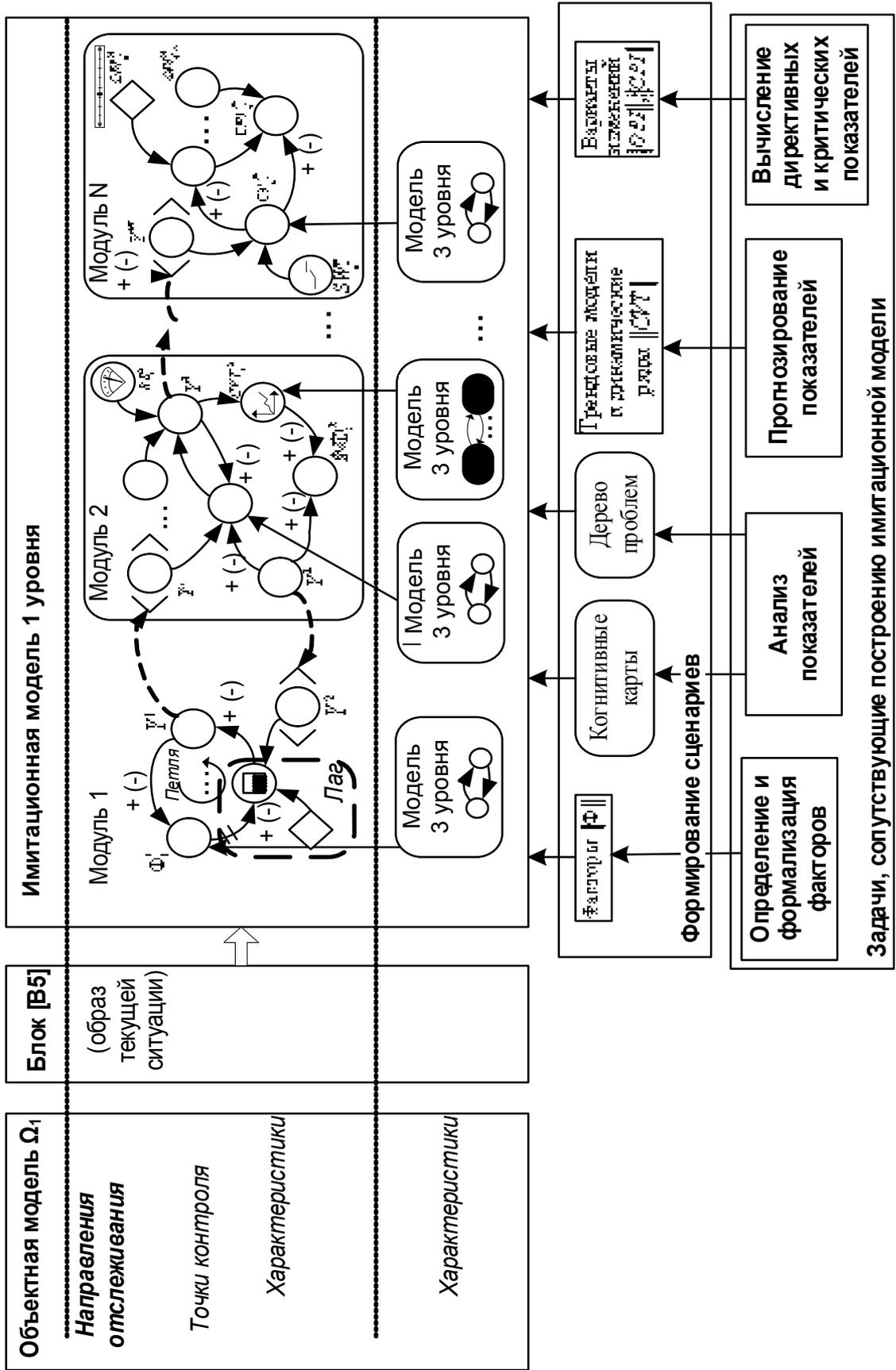


Рис. 3. Структура динамической модели развития ситуации без управляющих воздействий

резисторов – переменных, которые, получая импульс об изменении факторов и характеристик, вырабатывают сигнал к определенным действиям, распределенным во времени и имеющим относительно меньшую величину воздействия по сравнению с величиной импульса.

### Литература

1. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. – М.: Мир, 1976. – 755 с.
2. Бриллинджер Д. Временные ряды. Обработка данных и теория. – М.: Мир, 1980. – 536 с.
3. Давнис В.В., Тинякова В.И. Прогноз и адекватный образ будущего // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Экономика и управление. – 2005. – №2. – С.183-190.
4. Кендалл М.Дж. Временные ряды. – М., 1981. – 200 с.
5. Кулинич А.А. Методология когнитивного моделирования сложных плохо определенных ситуаций // Избранные труды Второй международной конференции по проблемам управления. – М.: ИПУ РАН. – 2003. – Т. 2. – С. 219-226.
6. Максимов В.И., Корноушенко Е.К., Качаев С.В. Когнитивные технологии для поддержки принятия управленческих решений // Информационное общество. – 1999. – Вып. 2. – С.50-54.
7. Рабочая книга по прогнозированию / Под общ. ред. И.В. Бестужев-Лады. – М.: Мысль, 1982. – 430 с.
8. Шибалкин О.Ю. Проблемы и методы построения сценариев социально-экономического развития. – М.: Наука, 1992. – 176 с.
9. ЩигOLEV Б.М. Математическая обработка наблюдений. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит-ры, 1962. – 344 с.
10. Лепа Р.Н. Теоретические аспекты прогнозирования управленческих решений с учетом фактора инерционности / Новое в экономической кибернетике: Сб. науч. ст. / Под общ. ред. Ю.Г. Лысенко // Слабые сигналы в экономике. – Донецк: ДонНУ. – 2003. – №4. – С. 26-39.
11. Лепа Р.М. Ситуаційні центри в прийнятті управлінських рішень // Вісник Донецького інституту економіки та господарського права. Сер.: Економіка та управління. – Донецьк: ДІЕГП. – 2001. – №5. – С. 78-84.
12. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. – М.: Наука, 1986. – 288 с.
13. Лепа Р.Н. Концептуальные основы моделирования механизма идентификации проблемных ситуаций на предприятии // Економічна кібернетика. – Донецьк: ДонНУ. – 2004. – №5-6 (29-30). – С. 35-41.
14. Лепа Р.Н. Модель идентификации проблемных ситуаций на предприятии // Экономика промышленности: Сб. науч. тр. / НАН Украины. Ин-т экономики пром-сти. – Донецк, 2004. – С. 369-380.
15. Кульба В.В., Кононов Д.А., Косяченко С.А., Шубин А.Н. Методы формирования сценариев развития социально-экономических систем. – М.: СИНТЕГ, 2004. – 296 с.
16. Кадомцев Б.Б. Динамика и информация. – М.: Редакция журнала "Успехи физических наук", 1999. – 394 с.
17. Форрестер Дж.У. Основы кибернетики предприятия. – М.: Прогресс, 1971. – 340 с.
18. Forrester Jay W. Industrial Dynamics. – New York – London: Massachussets Institute of Technology and Jon Wiley and Sons, 1961. – 340 p.

19. Лепа Р.Н. Механизм выявления проблемных ситуаций // Вестник

ДГМА. – 2006. – №3. – С.110-116.