

## ФОРМАЛЬНЫЙ СИНТЕЗ СИСТЕМНО-ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ РЕЛЯЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ БАЗЫ ДАННЫХ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

*А.С. Игнатович, А.В. Панюков*

В статье рассматриваются вопросы автоматической генерации системно-динамической модели на основе данных реляционной модели предметной области. Вводится понятие концептуального шаблона системно-динамической модели. Рассматривается метод синтеза модели на основе группы шаблонов и сопоставленных им SQL-запросов к реляционной СУБД.

*Ключевые слова: системная динамика, имитационное моделирование, формальный синтез моделей, концептуальный шаблон, реляционные отношения.*

### Введение

Важной составляющей системной динамики [1] являются формальные языки описания процесса изменения моделируемого объекта. Общепринятым описанием моделей в концепции системной динамики является язык системных диаграмм. Но построение системных диаграмм в случае, когда объект исследования является сложной системой, становится затруднительным, и синтез приемлемой для практического использования динамической модели может занимать до нескольких лет. Поэтому основной упор проведенных исследований делался на поиски путей формализации и автоматизации этого процесса.

Как правило, знания экспертов формализуются в виде концептуальной модели предметной области, например в [2, 3] авторы предлагают на базе функционально-целевого подхода [4] формализовывать экспертные знания в виде концептуальных моделей предметной области, затем организовывать концептуальные модели в виде баз знаний древовидной структуры и на основе разработанных в [5] процедур обработки знаний реализовывать формальный синтез моделей системной динамики.

Как было замечено в [2], различные процессы, протекающие в сложных системах, могут быть представлены системно-динамическими моделями, обладающими схожими структурами и рассчитываемыми по однотипным системам разностных уравнений – концептуальным шаблонам [6]. Разработанный авторами приведенных работ программный комплекс на основе данных шаблонов и правил вывода базы знаний осуществляет генерацию системно-динамических моделей.

В предлагаемом нами подходе формального синтеза моделей системной динамики мы также используем технологию концептуальных шаблонов, но, в отличие от работ [2, 3, 5], предполагающих построение и поддержание в актуальном состоянии базы знаний, лежащей в основе концептуальной модели, мы предлагаем использовать уже существующие практически на любом среднем или крупном предприятии модели предметной области – модели отношений объектов (реляционные модели), т.е., структуры и данные, содержащиеся в СУБД корпоративной информационной системы (КИС) предприятия.

Богатые возможности языка SQL по осуществлению выборки данных, на основе которой с использованием концептуальных шаблонов реализуется формальный синтез модели, позволяют сравнительно легко и с малыми трудозатратами осуществлять разработку и поддержание в актуальном состоянии системно-динамической модели. С нашей точки зрения, трудозатраты, связанные с разработкой и изменением модели, при данном подходе меньше, чем при использовании баз знаний. Кроме того, как показывает практика, именно программист на предприятии фактически является экспертом, отлично знающим структуру взаимодействия бизнес-сущностей.

Данная работа является тематическим продолжением работ [7, 8, 9], в которых рассматриваются технологии разработки среды системно-динамического моделирования и построения имитационных моделей на основе бизнес-данных предприятия.

## 1. Понятие шаблона системно-динамической модели

Согласно теореме о покрытии [5] система в целом должна строиться из таких подсистем, которые обеспечивают покрытие соответствующих подзадач основной целевой задачи системы, т.е. множество действий, выполняемых подсистемами, покрывает целевую задачу системы.

Пусть произведена декомпозиция системы до достижения примитивных целей, неделимых в пределах моделируемой системы. Введем понятие концептуального шаблона [2, 4, 6] – некоторой конструкции, имеющей установившуюся во времени структуру, набор входных, выходных параметров и начальных значений:  $P = \{S, F, X, Y, I\}$ , где  $S$  – структура шаблона,  $F$  – закон функционирования шаблона,  $X$  – множество входных параметров шаблона,  $Y$  – множество выходных параметров шаблона,  $I$  – множество начальных значений. Структура  $S_i$  неизменна в пределах модели системы и задается с помощью потокового графа системной динамики, множества входных, выходных параметров различаются и зависят от конкретной реализации (экземпляра) шаблона. Неизменность структуры  $S_i$  шаблона модели заключается в том, что во всех экземплярах шаблона  $P_i$  число переменных (уровней, темпов, дополнительных переменных) постоянно, также неизменны взаимосвязи между ними. Что касается закона функционирования шаблона  $F_i$ , то для внутренних переменных, не связанных с переменными шаблона  $P_j$ ,  $j \neq i$ , закон функционирования остается неизменным. Для переменных, имеющих связи с другими экземплярами шаблонов, закон функционирования задается на этапе синтеза системно-динамической модели, т.к. при разработке шаблонов заранее неизвестно количество экземпляров шаблона  $P_j$ , связанных с данными переменными.

Пусть  $\{M_{ij}\}$  – множество всех экземпляров всех шаблонов системы, где  $M_{ij}$  –  $j$ -й экземпляр, построенный по шаблону  $P_i$ ,  $1 \leq i \leq n$ , тогда согласно закону о покрытии, объединение  $\bigcup M_{ij} + X$ , где  $X$  – множество переменных модели, не входящих ни в один из шаблонов  $P_i$ , есть модель всей сложной системы в целом.

Цель данной работы – показать процесс формального синтеза единой системно-динамической модели сложной системы путем построения экземпляров шаблонов над выборками данных реляционной структуры СУБД.

Рассмотрим процесс формального синтеза модели взаимодействия диверсифицированного производства и рынка, состоящего из нескольких сегментов.

## 2. Постановка задачи моделирования

Компания хочет вложить средства в строительство нового предприятия, которое будет выпускать некоторый ассортимент продукции, пользующейся спросом на рынке. Аналогичную продукцию выпускают и некоторые другие фирмы, поэтому придется действовать в

условиях конкуренции. Кроме того, предполагается, что ценовая диверсификация, являющаяся действенным методом работы с рынком, позволит получить больший доход и степень проникновения на рынок.

Пусть потребителей  $k$  товаров и услуг, реализуемых предприятием, можно разделить на  $m$  секторов. Для каждого получившегося сегмента, компания устанавливает свои цели (доля рынка, рентабельность, т.е. соотношение затрат и прибыли), сегменты различаются емкостью рынка и уровнем конкуренции. Выходными характеристиками модели должны являться:  $\text{Prof}_i$  – выручка от продажи товара в  $i$ -ом сегменте рынка, где  $1 \leq i \leq km$ . Общая выручка от продажи всех видов товаров во всех сегментах рынка:

$$P = \sum_{i=1}^{km} \text{Prof}_i. \quad (1)$$

Сумма случайных величин прибыли для  $N_p$  случайных реализаций:

$$S = \sum_{i=1}^{N_p} P_i, \quad (2)$$

сумма квадратов случайных величин прибыли для  $N_p$  случайных реализаций

$$Q = \sum_{i=1}^{N_p} P_i^2. \quad (3)$$

Показателем эффективности работы предприятия является минимальная гарантированная прибыль  $G$ , определяемая по следующим зависимостям:

$$M = \frac{1}{N_p} S, \sigma = \sqrt{\frac{1}{N_p - 1} (Q - N_p M^2)}, G = M - K_\alpha \sigma, \quad (4)$$

где  $M$  – математическое ожидание (среднее значение) прибыли,  $\sigma$  – среднее квадратичное отклонение прибыли,  $K_\alpha$  – квантиль нормального распределения, соответствующий заданной надежности  $\alpha$  ( $K_\alpha = 1,28$  при  $\alpha = 0,9$ ). Аналогичным образом, требуется рассчитать  $G_i$  – минимальную гарантированную прибыль, которая должна быть неотрицательна в каждом  $i$ -ом сегменте рынка.

### 3. Разработка шаблонов и формальный синтез системно-динамической модели

На рис. 1 показана реляционная модель данных о сегментах рынка, товарах и услугах, конкурентах, которая может быть частью схемы базы данных КИС предприятия. Сущности, приведенные на рис. 1 могут представлять собой физические таблицы в БД, могут быть «видами», в т.ч., построенными путем объединения нескольких таблиц, или хранимыми процедурами, возвращающими табличное значение.

Одной записи в таблице «Продукт» (Product) сопоставляется несколько записей в таблице «Продукт на рынке» (ProductOnMarket). Также на схеме присутствует таблица «Конкуренты» (Competitors) и таблица «Продукты конкурентов» (ProductByCompetitors).

Одному «продукту на рынке», то есть товару или услуге, предлагаемой в  $i$ -ом сегменте рынка, сопоставляется много продуктов, произведенных конкурентами, то есть товары одного вида и для одной и той же группы потребителей производятся несколькими предприятиями.

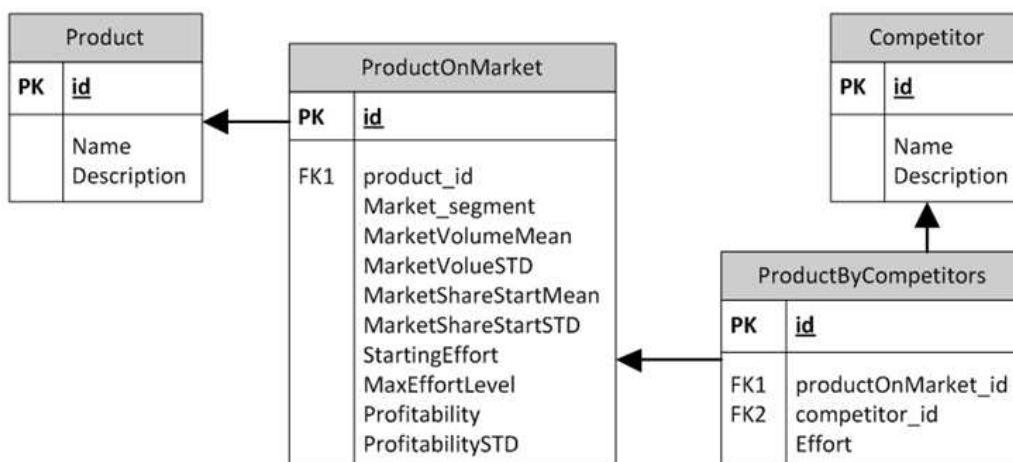


Рис. 1. Реляционная структура данных модели

Построим декомпозицию системы «диверсифицированное производство на сегментированном рынке» на  $km$  экземпляров шаблонов, при этом учитывая, что  $c = km$  – это общее количество записей в таблице ProductOnMarket. Каждая подсистема будет отражать производство и сбыт товара в  $i$ -м сегменте рынка.

На рис. 2 приведена структура шаблона в нотации системной динамики. Смысл, взаимосвязь и формулы расчета переменных будут приведены далее по тексту работы. Для построения экземпляров шаблона, приведенного на рис. 2 зададим SQL запрос, выбирающий данные из таблиц СУБД (см. рис. 1):

```

SELECT PrM.id
, PrM.MarketVolumeMean /*Мат. ожидание емкости рынка товара*/
, PrM.MarketVolumeSTD /*Среднее квадратичное отклонение емкости рынка товара*/
, PrM.MarketShareStartMean /*Начальное значение мат.ожидания доли рынка товара*/
, PrM.MarketShareStartSTD /*СКО начальной доли рынка товара*/
, 0 As InitTotalProfit/*Начальное значение уровня дохода от продажи товара*/
, PrM.StartingEffort /*Начальный уровень маркетинговых инвестиций*/
, PrM.MaxEffortLevel /*максимальный уровень маркетинговых инвестиций во 2-м
                    и последующих периодах моделирования*/
, ISNULL(GC.Effort, 0) As Effort /*усилия конкурентов */
, ISNULL(GC.Effort, 0) / 10 As EffortSTD /*среднеквадратичное отклонение*/
, (100 - PrM.Profitability) / 100 As AvgCostPercent /*доля себестоимости
                                                    в цене товара*/
, PrM.ProfitabilitySTD / 100 as AvgCostPercentSigma
, ROW_NUMBER() OVER (ORDER BY P.Name) AS TemplateEntityID
FROM ProductOnMarket PrM
LEFT JOIN
    (SELECT GCI.productOnMarket_id, AVG(GCI.Effort) AS Effort
    FROM ProductByCompetitors GCI
    GROUP BY GCI.productOnMarket_id) AS GC
ON PrM.id = GC.ID
INNER JOIN Product AS P ON P.id = PrM.product_id
    
```

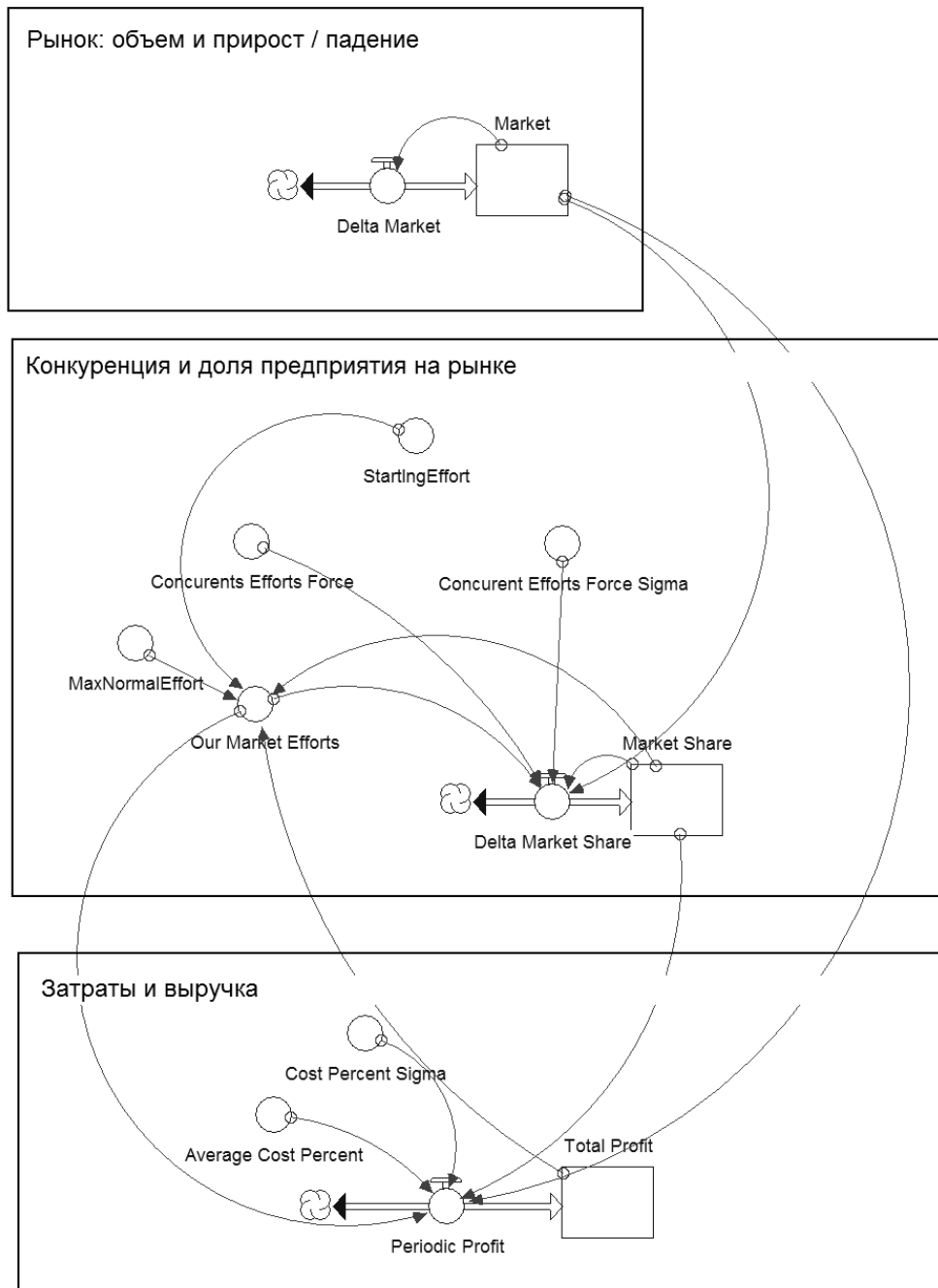


Рис. 2. Структура шаблона «Main»-модели продаж определенного товара в заданном сегменте рынка

Пометим данный запрос меткой {Main}. Рассмотрим суть и формулы расчета переменных экземпляра шаблона, приведенного на рис. 2 на основе запроса {Main}. Для обращения к результатам, выдаваемым по запросу, будем использовать следующую нотацию: {<имя\_запроса>:<индекс>}.

- {Main:0} – идентификатор экземпляра шаблона используется для служебных целей;

- уровень «Market» характеризует емкость заданного сегмента рынка определенного товара. Начальное значение объема рынка – случайная величина (предприятие только планирует выйти на рынок, поэтому данные о емкости рынка неточны, кроме того, к моменту выхода на рынок его емкость может измениться), распределенная по нормальному закону с математическим ожиданием  $PrM.MarketVolumeMean$  ({Main:1}) и среднеквадратичным отклонением  $PrM.MarketVolumeSTD$  ({Main:2}). Начальное значение задается формулой  $INIT\ Market = NORMAL(\{Main:1\}, \{Main:2\})$ . Ограничение:  $Market > 0$ . Значение переменной изменяется со временем за счет действия переменной «Delta\_Market» - темпа, формула расчета которого:  $Market * NORMAL(0, 0.03)$ . Предполагается, что рынок в исследуемый период достаточно стабильный и емкость рынка испытывает лишь небольшие случайные флуктуации;
- уровень «Market\_Share» характеризует долю рынка товара, занятую предприятием. Начальное значение уровня так же, как и для уровня «рынок», случайно и подчиняется нормальному закону распределения (предполагается, что вследствие маркетинговой кампании за счет некоторой новизны и отличности от товаров конкурентов, предприятие сразу же займет некоторую случайную долю рынка.):  $\{Main:3\}$  –  $PrM.MarketShareStartMean$  – математическое ожидание,  $\{Main:4\}$  –  $PrM.MarketShareStartSTD$  – среднеквадратичное отклонение,  $INIT\ Market\_Share = NORMAL(\{Main:3\}, \{Main:4\})$ . Ограничение:  $Market\_Share > 0$ .

Значение уровня изменяется со временем за счет действия переменной «Delta\_Market\_Share» – темпа, формула расчет которого приведена ниже;

- уровень «Total\_Profit» характеризует прибыль от продажи товара в данном сегменте рынка. Начальное значение  $\{Main:5\} = 0$ , предприятие только планирует выйти на данный рынок  $INIT\ Total\_Profit = \{Main:5\}$ . На данную переменную ограничения не накладываются, т.к., в любом случае, в начальный период затраты на выход на рынок превосходят поступления и  $Total\_Profit$ , по крайней мере, в части периодов моделирования будет отрицательным;
- дополнительная переменная «StartingEffort» – начальный уровень маркетинговых инвестиций (в начальный период при выходе на рынок предполагается проводить более активную маркетинговую политику), формула расчета переменной:  $StartingEffort = \{Main:6\}$ ;
- дополнительная переменная «MaxEffortLevel» – максимальный уровень маркетинговых инвестиций (в последующие периоды моделирования), формула расчета переменной:  $MaxEffortLevel = \{Main:7\}$ ;
- дополнительная переменная «Our\_Market\_Efforts» – величина маркетинговых инвестиций в текущий период моделирования. Задается следующим образом. В начальный период моделирования всегда берется значение  $PrM.StartingEffort$ , в последующие периоды моделирования при снижении рыночной доли всегда тратится  $PrM.MaxEffortLevel$  (что может привести в том числе к отрицательному значению общей полученной прибыли), при сохранении рыночной доли на маркетинговые затраты отводится минимум из  $PrM.MaxEffortLevel$  и текущего уровня прибыли от продаж данного товара:

$Our\_Market\_Efforts =$   
 $IF\ TIME = 0\ THEN\ StartingEffort$

```

ELSE
  IF HISTORY(Market_Share, TIME-1) > Market_Share THEN
    MaxEffortLevel
  ELSE
    MIN (MaxEffortLevel, Total_Profit)

```

- дополнительная переменная «Concurents\_Efforts\_Force», характеризующая математическое ожидание усилий конкурентов по продвижению товара на рынке в денежном выражении. Данная переменная рассчитывается как среднее из маркетинговых затрат конкурентов на продвижения товара в данном сегменте рынка, определяемых экспертными методами, формула расчета переменной:  $Concurents\_Efforts\_Force = \{Main:8\}$ ;
- дополнительная переменная «Concurent\_Efforts\_Force\_Sigma», характеризующая среднеквадратичное отклонение в усилиях конкурентов по продвижению товара на рынке (1/10 от «Concurents\_Efforts\_Force»), формула расчета переменной:  $Concurent\_Efforts\_Force\_Sigma = \{Main:9\}$ ;
- темп «Delta\_Market\_Share» показывает изменение доли рынка предприятия за период, зависящее от маркетинговой политики предприятия и конкурентов. Предприятие в общем случае теряет долю рынка, в случае превышения маркетинговых инвестиций предприятия в данный товар конкурентами, и, увеличивает свою долю рынка в противном случае. Конкретная величина изменения рыночной доли определяется с учетом случайного фактора (величины, распределенной по нормальному закону), формула расчета переменной:

```

Delta_Market_Share = ((Our_Market_Efforts -
NORMAL(Concurents_Efforts_Force, Concurent_Efforts_Force_Sigma)) /
Market) * (1 - Market_Share) * NORMAL(0.1, 0.1);

```

- дополнительная переменная «Average\_Cost\_Percent» характеризует долю себестоимости в отпускной цене единицы продукции, формула расчета переменной:  $Average\_Cost\_Percent = \{Main:10\}$ ;
- реальная доля себестоимости в отпускной цене продукции варьируется, т.е. является случайной величиной. Дополнительная переменная «Cost\_Percent\_Sigma» характеризует среднеквадратичное отклонение доли себестоимости в цене единицы продукции, формула расчета переменной:  $Cost\_Percent\_Sigma = \{Main:11\}$ ;
- темп «Periodic\_Profit» характеризует выручку от продажи продукции на рынке за период и определяется долей рынка, себестоимостью продукции и маркетинговыми затратами, формула расчета переменной:

```

Periodic_Profit = Market * Market_Share * (1 -
NORMAL(Average_Cost_Percent, Cost_Percent_Sigma)) -
Our_Market_Efforts;

```

Для оценки эффективности деятельности предприятия, производящего большой ассортимент продукции в условиях сегментированного рынка требуются оценки минимально гарантированной прибыли от продаж каждого товара в каждом сегменте рынка, суммарные

продажи одного товара в пределах всех рыночных сегментов и общее количество всех проданных товаров во всех рыночных сегментах.

Минимально гарантированная прибыль от продажи товара в заданном сегменте рынка определяется значением уровня «Total\_Profit» в заданном экземпляре шаблона, требуется только собрать данные по некоторому количеству  $N_p$  реализаций (запусков) модели и не представляет каких-либо сложностей.

Оценка минимально гарантированной прибыли от продажи некоторого товара во всех сегментах рынка требует получения данных из переменных «Total\_Profit» - уровней, характеризующих уровень продаж товара в сегменте рынка. Ясно, что если предприятие планирует продавать  $k$  товаров, то и в итоговой модели должно быть  $k$  переменных, характеризующих объем продаж  $i$ -го  $1 \leq i \leq k$  товара. Введем в модель шаблон «Product». В данном шаблоне будет присутствовать всего одна дополнительная переменная «ProductTotalProfit», которая должна быть связана с переменными «Total\_Profit» в шаблоне «Main», притом, только с теми их экземплярами, которые относятся к интересующему нас  $i$ -му товару.

Запрос для построения экземпляров шаблона «ProductTotalProfit»:

```
SELECT P.Id
      , P.Name
      , ROW_NUMBER() OVER (ORDER BY P.Name) AS TemplateEntityID
FROM Product AS P
```

Для переменной ProductTotalProfit установим особый тип сумматора со сборкой формулы по запросу «ProductByMarket»:

```
TotalProductProfit = [+]Total_Profit{ProductByMarket:2}
```

Запрос «ProductByMarket»:

```
SELECT P.id
      , PrM.TemplateEntityID
FROM Product As P INNER JOIN
(
  SELECT Pr.id
        , Pr.Name
        , PrOnM.id As prmID
        , ROW_NUMBER() OVER (ORDER BY Pr.Name) AS TemplateEntityID
  FROM ProductOnMarket As PrOnM
    INNER JOIN Product Pr ON Pr.id = PrOnM.product_id
) As PrM ON PrM.id = P.id
```

В данной формуле {ProductByMarket:2} будет заменяться значением PrM.TemplateEntityID – порядковым номером экземпляра шаблона и при обработке каждой следующей строки запроса «ProductByMarket» в формулу будет добавляться, например, ... + Total\_Profit3 ... + Total\_Profit7 и так далее. Таким образом, например, в первом экземпляре шаблона результирующая формула может иметь вид: TotalProductProfit1 = Total\_Profit2 + Total\_Profit5 + Total\_Profit6, во втором – TotalProductProfit2 = Total\_Profit1 + Total\_Profit3 и так далее.

Для оценки общей прибыли от продажи всех видов товаров во всех сегментах рынка также введем новый шаблон с формулой отбора:



SELECT 1, 1

Такая запись обуславливается тем, что в модели должен быть построен всего один шаблон для расчета итоговой прибыли, мы также не планируем использовать какую-либо информацию из этого запроса.

В данном шаблоне добавим одну переменную – итоговую прибыль от продаж. Для сборки формулы будем использовать запрос `Main: Profit = [+]Total_Profit{Main:13}`. Аналогично построению шаблона «ProductTotalProfit», в запросе используется особая формула, которая при синтезе модели будет преобразована в: `Profit = Total_Profit1 + Total_Profit2 + ... + Total_Profit<k>`

## Заключение

Таким образом, для построения и поддержания в актуальном виде системно-динамической модели некоторой интересующей нас предметной области требуется:

1. Разработать некоторое количество шаблонов  $P$  предметной области, структура  $S$  которых задается с помощью потоковых диаграмм, аналогичных моделям системной динамики.
2. Использовать модель данных существующей КИС предприятия (объединение реляционных таблиц или видов БД) для построения запросов к БД. Каждый такой запрос к БД соответствует определенному шаблону  $P_i$  предметной области. В итоговой системно-динамической модели для каждой строки  $j$ , возвращаемой запросом по шаблону  $P_i$ , будет построен экземпляр модели  $M_{ij}$ .
3. Каждой переменной шаблона  $P_i$  необходимо задать формулы расчета (см. выше), определяющие закон функционирования шаблона,  $X, Y$  – множество входных и выходных параметров, также для переменных-уровней шаблона задается множество начальных значений  $I$ , пример использования переменных, не входящих в данный шаблон см., например, формулу расчета переменной `TotalProductProfit`.

Описанный в статье подход формального синтеза системно-динамических моделей реализован в качестве модуля информационной системы предприятия, полностью интегрированного в ИТ-инфраструктуру. Совместная работа аналитиков и программистов позволяет эффективно использовать метод имитационного моделирования в принятии решений.

## Литература

1. Forrester, Jay W. Industrial Dynamics / Jay W. Forrester. – Portland, OR: Productivity Press., 1961.
2. Быстров, В.В. Организация базы знаний при автоматизации синтеза динамических моделей сложных систем / В.В. Быстров // Информационные ресурсы России. – 2007. – Вып. 1. – С. 38 – 42.
3. Горохов, А.В., Концептуальный синтез моделей системной динамики / А.В. Горохов, В.А. Путилов // Теория и практика: тр. Всерос. конф. 13 – 15 сент. 2004 г. – Апатиты: КНИЦ РАН, 2004. – С. 21 – 26.
4. Короновский, А.А. Нелинейная динамика в действии: как идеи нелинейной динамики проникают в экологию, экономику и социальные науки: монография / А.А. Короновский, Д.И. Трубецков. – М.: Колледж, 2002. – 320 с.

5. Путилов, В.А. Системная динамика регионального развития: монография / В.А. Путилов, А.В. Горохов. – Мурманск: Пазори, 2002. – 306 с.
6. Казаков, С.А. Использование концептуальных паттернов в проектах разработки аналитических моделей бизнес-процессов / С.А. Казаков, Ю.А. Шебеко // Материалы всероссийской конференции «Теория и практика системной динамики». – Апатиты, 2004. – С. 79 – 83.
7. Игнатович, А.С. О применении GNU Octave в моделировании системной динамики / А.С. Игнатович // Свободное программное обеспечение в образовании: сб. тр. Всерос. конф. (г. Челябинск, 25 – 26 марта, 2009 г.) / под. ред. А.В. Панюкова. – Челябинск, 2009. – С. 40 – 45.
8. Игнатович, А.С. Разработка среды имитационного моделирования с применением GNU Octave / А.С. Игнатович // Научный поиск: материалы первой науч. конф. аспирантов и докторантов. Экономика. Управление. Право. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – С. 258 – 261.
9. Игнатович, А.С. Построение непрерывно-дискретной модели управления проектами отдела разработки программного обеспечения неспециализированной организации / А.С. Игнатович // Научный поиск: материалы второй науч. конф. аспирантов и докторантов. Экономика. Управление. Право. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010. – Т. 1. – С. 98 – 101

Александр Сергеевич Игнатович, аспирант, кафедра «Экономико-математические методы и статистика», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск, Российская Федерация), drigofibrilator@yandex.ru.

Анатолий Васильевич Панюков, доктор физико-математических наук, профессор, кафедра «Экономико-математические методы и статистика», Южно-Уральский государственный университет (Челябинск, Российская Федерация), a\_panyukov@mail.ru.

---

## The Formal Synthesis of System-dynamic Models Based on a Relation Database Structure of the Information Data System

*A.S. Ignatovich*, South Ural State University (Chelyabinsk, Russian Federation),

*A.V. Panyukov*, South Ural State University (Chelyabinsk, Russian Federation)

The questions of automatic system dynamic models building based on a relational database structure are considered in this paper. The notion of system-dynamic model conceptual template has been introduced. The formal model synthesis method based on template group and correlated to this groups SQL-queries to relational databases has been suggested.

*Keywords: system dynamics, simulation, formal model synthesis, conceptual pattern, relational database structure.*

## References

1. Forrester Jay W. *Industrial Dynamics*. Portland, OR, Productivity Press., 1961.
2. Bystrov V.V. Building Knowledge Base for Automatic Synthesis of Dynamic Models of Complex Systems [Organizacija bazy znaniy pri avtomatizacii sinteza dinamiceskikh modelej slozhnyh sistem]. *Informacionnye resursy Rossii*, 2007, no. 1, pp. 38 – 42.
3. Gorohov A.V., Putilov V.A. Conceptual System Dynamic Model Synthesis [Konceptual'nyj sintez modelej sistemnoj dinamiki]. *Teorija i praktika: Trudy Vserossijskoj konferencii*

- [Theory and Practice: Proceedings of the Russian Conference], Apatity, KNC, 2004, pp. 21 – 26.
4. Koronovskij A.A., Trubeckov D.I. *Nelinejnaja dinamika v dejstvii: kak idei nelinejnoj dinamiki pronikajut v jekologiju, jekonomiku i social'nye nauki* [Nonlinear Dynamics in Action: How the Idea of Nonlinear Dynamics Invokes in Ecology, Economics and Social Science]. Saratov, 2002. 320 p.
  5. Putilov V.A., Gorohov A.V. *Sistemnaja dinamika regional'nogo razvitija* [System Dynamics of Regional Development]. Murmansk, 2002. 306 p.
  6. Kazakov S.A. Conceptual Pattern Applications in BI model Development Projects [Ispol'zovanie konceptual'nyh patternov v proektah razrabotki analiticheskikh modelej biznes-processov]. *Materialy vserossijskoj konferencii Teorija i praktika sistemnoj dinamiki* [Theory and Practice of System Dynamics: Proceedings of the Russian Conference], Apatity, 2004, pp. 79 – 83.
  7. Ignatovich A.S. About Using GNU Octave in System Dynamics Modelling [O primenenii GNU Octave v modelirovanii sistemnoj dinamiki]. *Svobodnoe programmnoe obespechenie v obrazovanii: sbornik trudov Vserossijskoj konferencii* [Free Open Source Software in Educations: Proceedings of the Russian Conference], Cheljabinsk, 2009, pp. 40 – 45.
  8. Ignatovich A.S. System Dynamics Modelling Environment Development with GNU Octave [Razrabotka sredy imitacionnogo modelirovanija s primeneniem GNU Octave]. *Nauchnyj poisk: materialy pervoj nauchnoj konferencii aspirantov i doktorantov. Jekonomika. Upravlenie. Pravo.* [Proc. 1st Russian Conference of Aspirants and Doctorants], Cheljabinsk, 2010, pp. 258–261
  9. Ignatovich A.S. Continuous-discrete Project Management Model Building of Unspecialized Organization Software Development Department [Postroenie nepreryvno-diskretnoj modeli upravlenija proektami otdela razrabotki programmnogo obespechenija nespecializirovannoj organizacii]. *Nauchnyj poisk: materialy vtoroj nauchnoj konferencii aspirantov i doktorantov. Jekonomika. Upravlenie. Pravo.* [Proc. 2nd Russian Conference of Aspirants and Doctorants], Cheljabinsk, 2010, vol. 1, pp. 98 – 101.

*Поступила в редакцию 27 сентября 2011 г.*