

## ИМИТАЦИОННАЯ СИСТЕМНО-ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРЕДПРИЯТИЯ С УЧЕТОМ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ФАКТОРА

А. В. Ефимова, А. В. Шатров (Киров)

Воспользуемся производственно-сбытовой математической моделью предприятия Дж. Форрестера [1]. Будем считать, что завод и заводской склад находятся в непосредственной близости один к другому. Поэтому мы не будем вводить запаздывания, связанные с пересылкой заказов по почте или с транспортировкой товаров между складом и заводом; в то же время необходимо учитывать, что после принятия решения об изменении темпа производства проходит определенное время, прежде чем начнет изменяться темп выпуска продукции.

**Реализация модели Форрестера на примере ОАО ШК «Амтел-Поволжье»**  
Производственно-сбытовая модель предприятия у Форрестера является закрытой, в то время как модель предприятия – это открытая система с множеством параметров, некоторые из них невозможно учесть при моделировании (например, теневые операции, действия конкурирующих предприятий и т.д.). Но модель Форрестера имеет и очень важное достоинство – она может быть использована в качестве *имитационной*. В этом случае становится возможным исследование поведения модели при различных значениях параметров. Итак, в условиях отсутствия полной открытой модели предприятия воспользуемся системой Форрестера, заменяя открытую систему имитационной, которая была реализована в IThink [2], ее структура приведена на рис. 1.

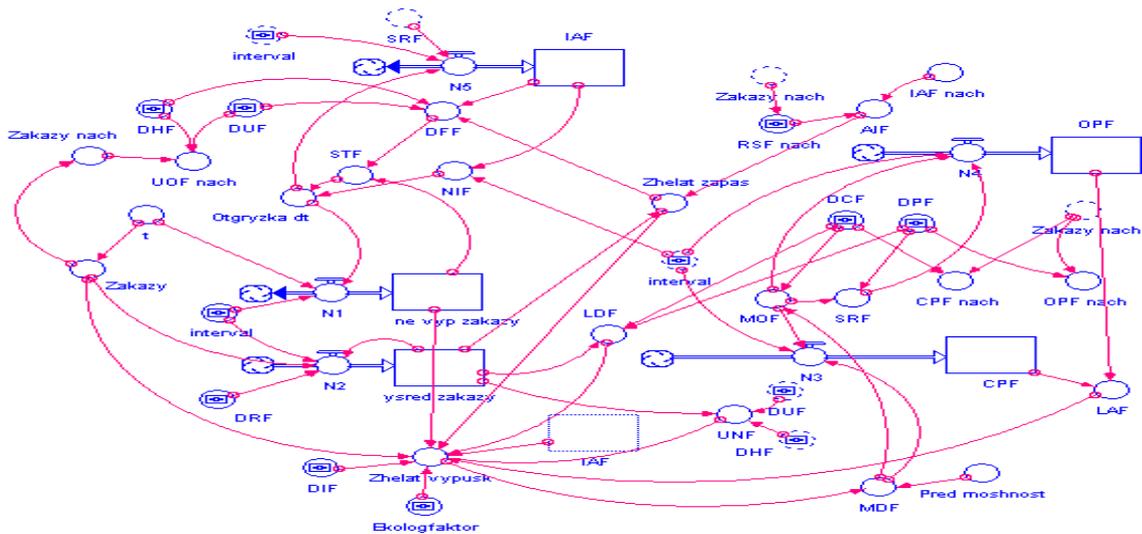


Рис. 1. Структура системы в IThink

Входящим потоком в систему является поток заказов, получаемых производством

$$z = 432006,8 \cdot t^{0,1099}. \quad (1)$$

Экологический фактор влияет на желательный темп выпуска продукции, который представлен уравнением (2) с дополнительным коэффициентом:

$$MWF.K = (1 - Ekologfaktor) \cdot (RRF.JK + \frac{1}{DIF} \cdot [(IDF.K - IAF.K) + (LDF.K - LAF.K) + (UOF.K - UNF.K)]). \quad (2)$$

Для первоначальной (базовой) реализации модели были выбраны следующие константы системы:

$DHF = 0,3$  – минимальное запаздывание выполнения заказа производством (месяцы);

$DUF = 0,4$  – среднее запаздывание выполнения заказов производством из-за отсутствия на складе некоторых товаров при общем «нормальном» объеме запасов (месяцы);

$DRF = 8$  – запаздывание в усреднении требований к производству (месяцы);

$DIF = 0,5$  – запаздывание регулирования запасов (и заполнения каналов) в производстве (месяцы);

$DCF = 0,16$  – запаздывание оформления заказа на заводе (месяцы);

$DPF = 0,6$  – запаздывание, связанное с затратой времени на производство продукции (месяцы);

$AIF = 0,33$  ( $AIF = \text{начальный запас на складе} / \text{начальные требования производству} = 142125 / 432007 = 0,33$ ) – постоянный коэффициент пропорциональности (месяцы);

$ALF = 1000000$  – константа, характеризующая предельную производственную мощность (единицы в месяц);

$DT = 0,05$  – интервал времени между решениями (месяцы).

Начальные условия:

$UOF = 302405$  – исходное число заказов, не выполненных производством (единицы);

$IAF = 142125$  – исходный фактический запас на складе (единицы);

$RSF = 432007$  – исходная величина заказов (единицы в месяц);

$CPF = 69121$  – исходное количество заказов в стадии оформления на заводе (единицы);

$OPF = 259204$  – исходное количество заказов в производстве (единицы).

Результаты реализации базового варианта модели представлены на рис. 2.

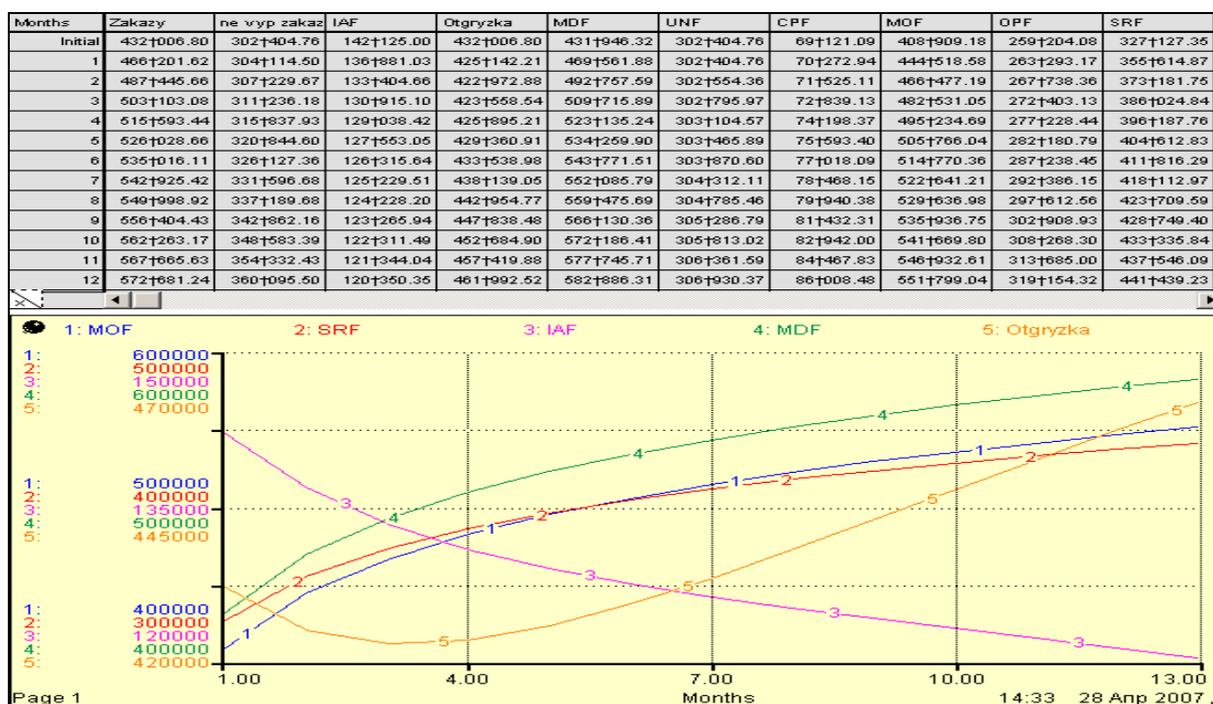


Рис. 2. Результаты базовой реализации системы

На графике видно, что растут объемы производственных заказов заводу (график 1), несколько быстрее увеличивается темп производства товара (график 4) и с некоторой задержкой увеличивается выпуск готовой продукции (график 2). Поставки,

осуществляемые с заводского склада, растут, начиная с четвертого месяца, а запас на складе уменьшается.

Зададим заказы производству в виде графика, достаточно точно отражающего реальные данные о спросе на продукцию. График представлен на рис. 3.

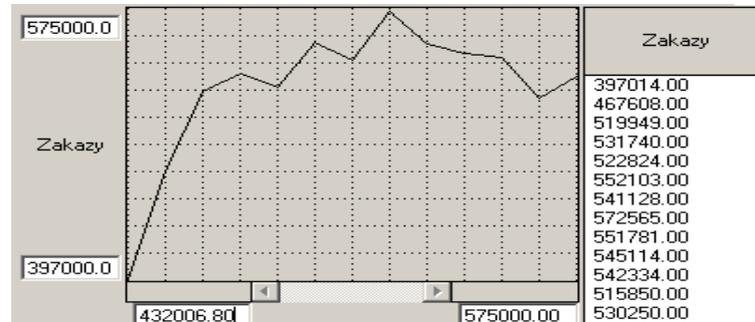


Рис. 3. Данные о заказах в виде графика

Результаты реализации системы при таком способе ввода данных и прежних константах приведены на рис. 4.

Ряд выпуска готовой продукции, представленный в таблице 3, и ряд выпуска, полученный по модели Форрестера (столбец SRF в таблице на рис. 4), несколько различны по динамике, т. к. выпуск во втором случае следует за спросом, а в реальности не всегда удается своевременно получать данные о предстоящем спросе на продукцию. Увеличим значения запаздываний *DHF* и *DUF* на единицу (1,3 и 1,4). Результаты представлены на рис. 5.

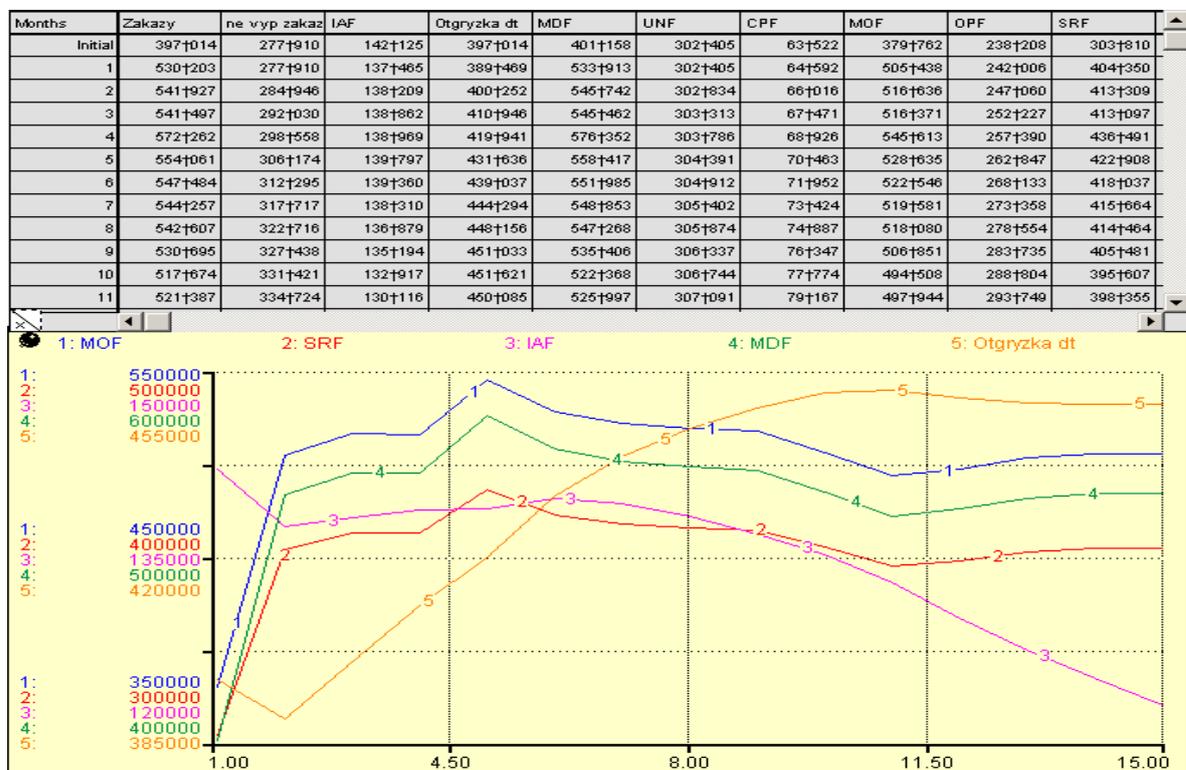
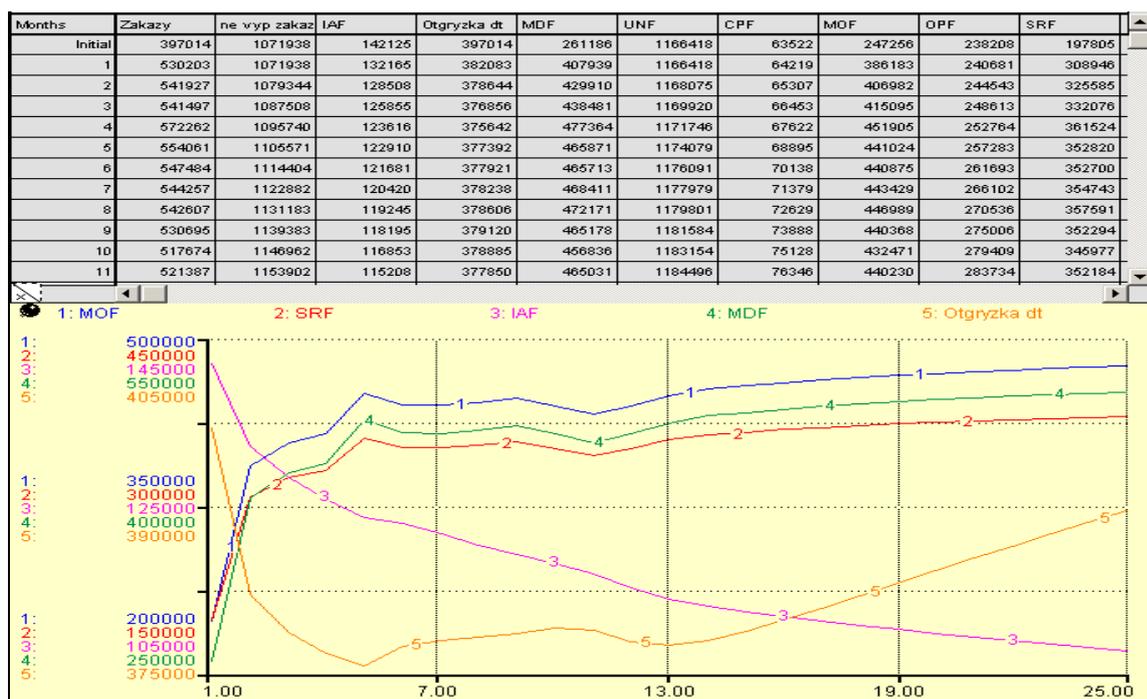


Рис. 4. Результаты при графическом вводе данных о спросе

Рис. 5. Результаты при увеличении запаздываний  $DHF$  и  $DUF$ 

В этом случае идет более медленный рост темпа производства товара (график 4), выпуска готовой продукции (график 2) и поставок с заводского склада (график 5). Запас на складе, наоборот, уменьшился более быстрыми темпами, число невыполненных производством заказов значительно увеличилось.

Увеличим экологический фактор до 0,3. Это приводит к значительному замедлению производственного процесса, что можно проследить на рис. 6:

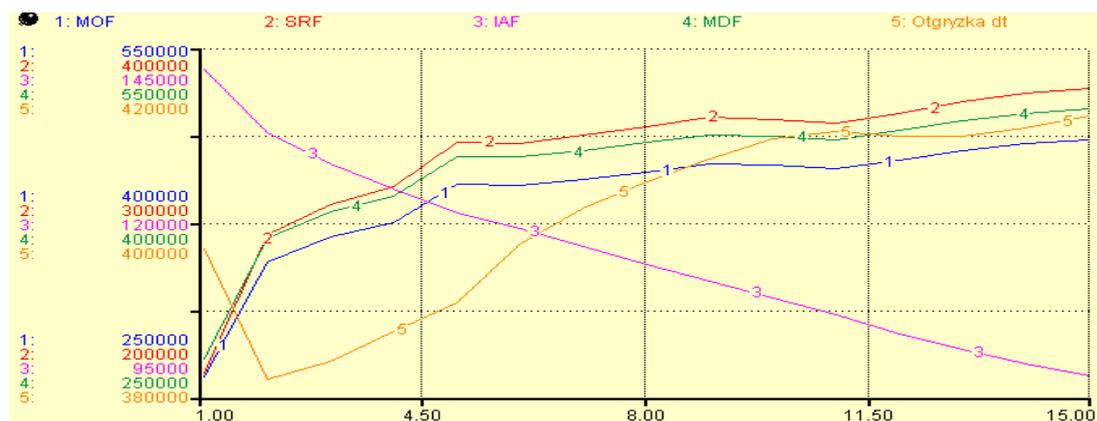


Рис. 6. Результаты при увеличении экологического фактора

Рассмотрим реакцию системы на синусоидальное возмущение с периодом в один год (рис. 7). Оно может представлять собой непредвиденное годовое сезонное изменение в темпе спроса. В конвертере «Заказы» записана формула:  $Zakazy_{нач} + 100 \cdot \sin 2\pi \frac{t}{12}$ .

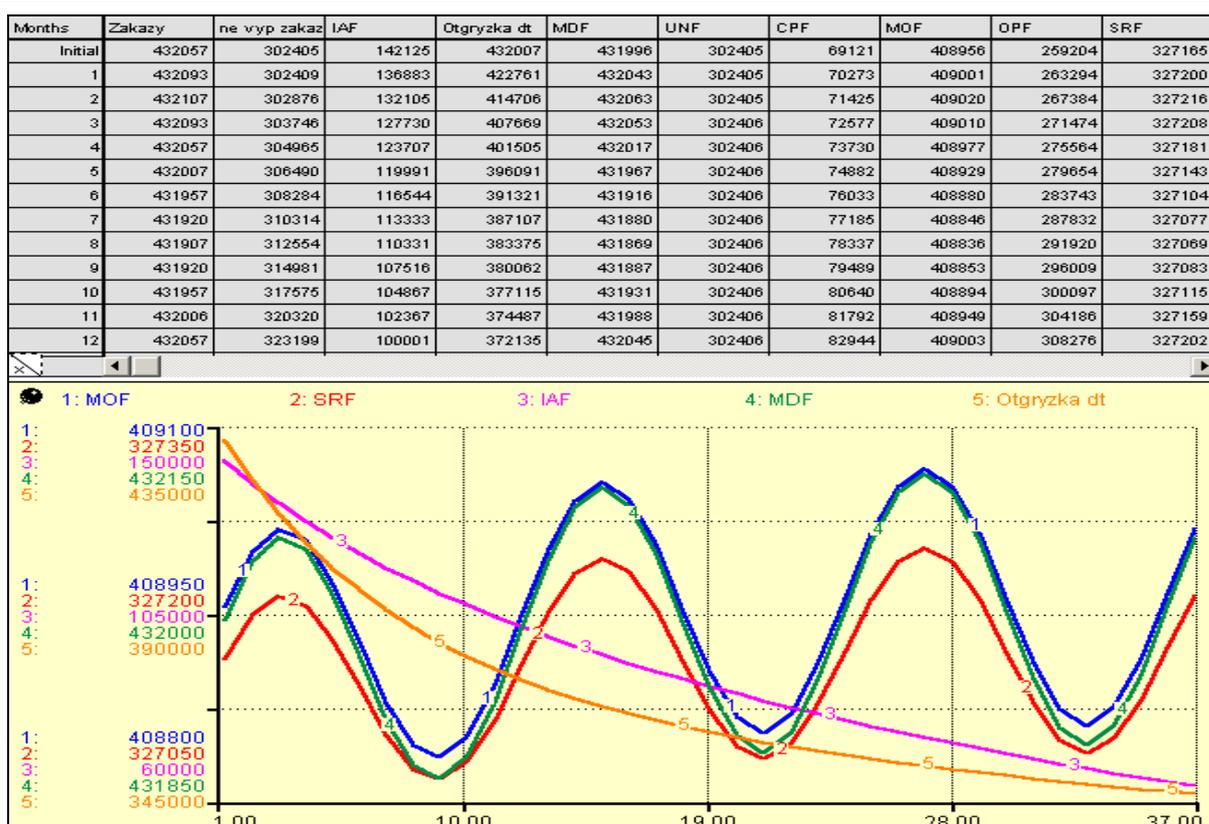


Рис. 7. Реакция системы на синусоидальный поток заказов

**Выводы.** Реализованная в IThink модель производственно-сбытовой системы является демонстрационной, она отражает влияние различных параметров системы, а также способы задания величины потока заказов производству на производственный процесс. Экспериментальным способом было установлено, что система наиболее чувствительна к следующим параметрам: запаздывание оформления заказа на заводе и запаздывание, связанное с затратой времени на производство продукции. Поток заказов, заданный степенной функцией или графически, приводит систему к идеальному состоянию: рост производственных заказов заводу, темпа производства товара, выпуска готовой продукции и поставок, осуществляемых с заводского склада, и уменьшение запаса на складе. При периодическом вводе данных о заказах наблюдается падение и поставок с заводского склада, и запаса продукции на складе, т.к. колебания выпуска готовой продукции не успевают за колебаниями потока заказов при любых значениях параметров.

#### Литература.

1. **Форрестер Дж.** Основы кибернетики предприятия (индустриальная динамика)/Дж. Форрестер: Перевод с англ. Л.А. Балыков и др. М.: Прогресс, 1971. 340 с.
2. **Масалович А. И.** Моделирование и анализ поведения бизнес-процессов/А. И. Масалович, Ю. А. Шебеко. М.: Тора-центр, 2002. 220 с.