

УДК 629.783

Е.С. Козелкова

*Центральный научно-исследовательский институт навигации и управления, Киев*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ПРОЦЕССА ВНЕДРЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ В ЭКОЛОГО-ХОЗЯЙСТВЕННЫЙ МОНИТОРИНГ

*Приведены результаты моделирования процесса внедрения информации дистанционного зондирования Земли в эколого-хозяйственный мониторинг.*

*дистанционное зондирование Земли, эколого-хозяйственный мониторинг*

### Введение

**Постановка задачи.** Расширение рынка космической информации дистанционного зондирования Земли (КИ ДЗЗ) заставляет искать новые пути повышения информационно-технической и экономической эффективности технологий использования КИ ДЗЗ. В связи с этим разработка методов для оценки эффективности использования такой информации при решении экологических и хозяйственных задач является актуальной задачей.

**Цель статьи.** Исследование возможности создания имитационной модели усвоения КИ ДЗЗ в эколого-хозяйственном мониторинге (ЭХМ) для прогнозирования сценариев развития этого процесса

### Основная часть

Для моделирования процесса внедрения КИ ДЗЗ в ЭХМ воспользуемся методом системной динамики [2, 6, 7], что было предложено Дж. Форрестером для количественного анализа сложных систем, имеющих множественные обратные связи, которые описывают причинно-следственные отношения между элементами системы. Это было обусловлено тем, что использование только экспертных оценок не позволяло предусмотреть результаты нелинейных взаимодействий между элементами сложной системы, а также учесть эффекты запаздывания в выполнении отдельных решений.

Придерживаясь терминологии, введенной Д. Форрестером, основные элементы в модели представляются уровнями – накопителями потоков материаль-

ной субстанции или информации. Каждый поток проходит через некоторый уровень, изменяя этим свою скорость. Поэтому в качестве основного элемента системы можно рассматривать уровень с входными у него и исходными из него потоками. Для того чтобы учесть фактор времени в явном виде, метод системной динамики должен опираться на простые динамические связи между уровнями и потоками информации. Процесс создания модели состоит из трех этапов: разработки концептуальной модели системы, что отражает основные причинно-следственные связи между элементами системы; построение системной диаграммы модели, которая содержит уровни и потоки, объединенные цепями обратной связи; формализации модели – получения в явном виде динамических уравнений для уровней и потоков [1].

**Концептуальная модель внедрения космической информации ДЗЗ.** На основе анализа возможных причинно-следственных связей в ЭХМ была выстроенная концептуальная модель внедрения КИ ДЗЗ, что включает основные уровни ЭХМ (рис. 1) [3, 4].

Концептуальная модель включает в себя уровень эффективности космической системы ДЗЗ –  $Y$ , уровни, которые отображают объем продукции (информации), получаемой с помощью мониторинга ( $\text{км}^2$ ) –  $X_5$  и объем используемой информации ДЗЗ –  $X_9$ , объем плановых затрат на мониторинг –  $X_6$  и на внедрение информации ДЗЗ –  $X_8$ , уровни качества мониторинга –  $X_1$  и потребности в информации мониторинга –  $X_2$ , себестоимость –  $X_3$ , цену выполнения  $1 \text{ км}^2$  мониторинга –  $X_4$ , усилие на внедрение

информации ДЗЗ –  $X_7$ , производительность работы –  $X_{10}$ , прибыль от выполнения мониторинга –  $X_{11}$ , оплата работы исполнителям мониторинга –  $X_{12}$ , профессиональный уровень операторов ДЗЗ –  $X_{13}$  и расходы на подготовку операторов ДЗЗ –  $X_{14}$ . В модели также присутствуют элементы задержки –  $D$ . Они необходимы для имитации реальных процессов с учетом организационных особенностей внедрения информации ДЗЗ. Задержки  $D_1$  и  $D_3$  отражают временное запаздывание влияния эффективности КС ДЗЗ  $Y$  и объема использованной информации ДЗЗ на смену качества мониторинга  $X_1$ . Некоторые особенности модели ценообразования на рынке продукции мониторинга учитываются задержкой  $D_2$ .

Задержка  $D_4$  отражает временное запаздывание в преодолении, так называемого, “парадокса усовершенствования”, если происходит спад производительности работы ( $X_{10}$ ) на период освоения информации ДЗЗ ( $X_9$ ). Задержка  $D_5$  учитывает характер зависимости профессионального уровня операторов ДЗЗ ( $X_{13}$ ) от затрат, направленных на их подготовку ( $X_{14}$ ).

Концептуальная модель отображает баланс усилий на внедрение КИ ДЗЗ, которые ведут, с одной стороны, к увеличению производительности работы (через  $X_8$  и  $X_9$ ), а с другой, к уменьшению объемов производства (через  $X_8$  и  $X_6$ ). Суть этого баланса выражается в том, что плановые затраты ( $X_6$ ) предприятия ограничены. Увеличение усилий коллектива, направленные на внедрение информации ДЗЗ, ведет к сокращению ресурсов ( $X_6$ ), что обеспечивает выполнение производственного плана, ведь сокращается объем производства. Если программа внедрения ДЗЗ сформирована правильно, то она все-таки приведет к росту производительности работы  $X_{10}$  и спустя некоторое время к заметному росту выпуска продукции  $X_5$ . Прибыль производителя находится под непосредственным влиянием трех факторов: отпускной цены, себестоимости и объема реализованной продукции. Кроме того, качество информации ДЗЗ также способно влиять на прибыль, так как от нее зависит спрос на мониторинг, а спрос и предложение взаимно влияют друг на друга и т.д.

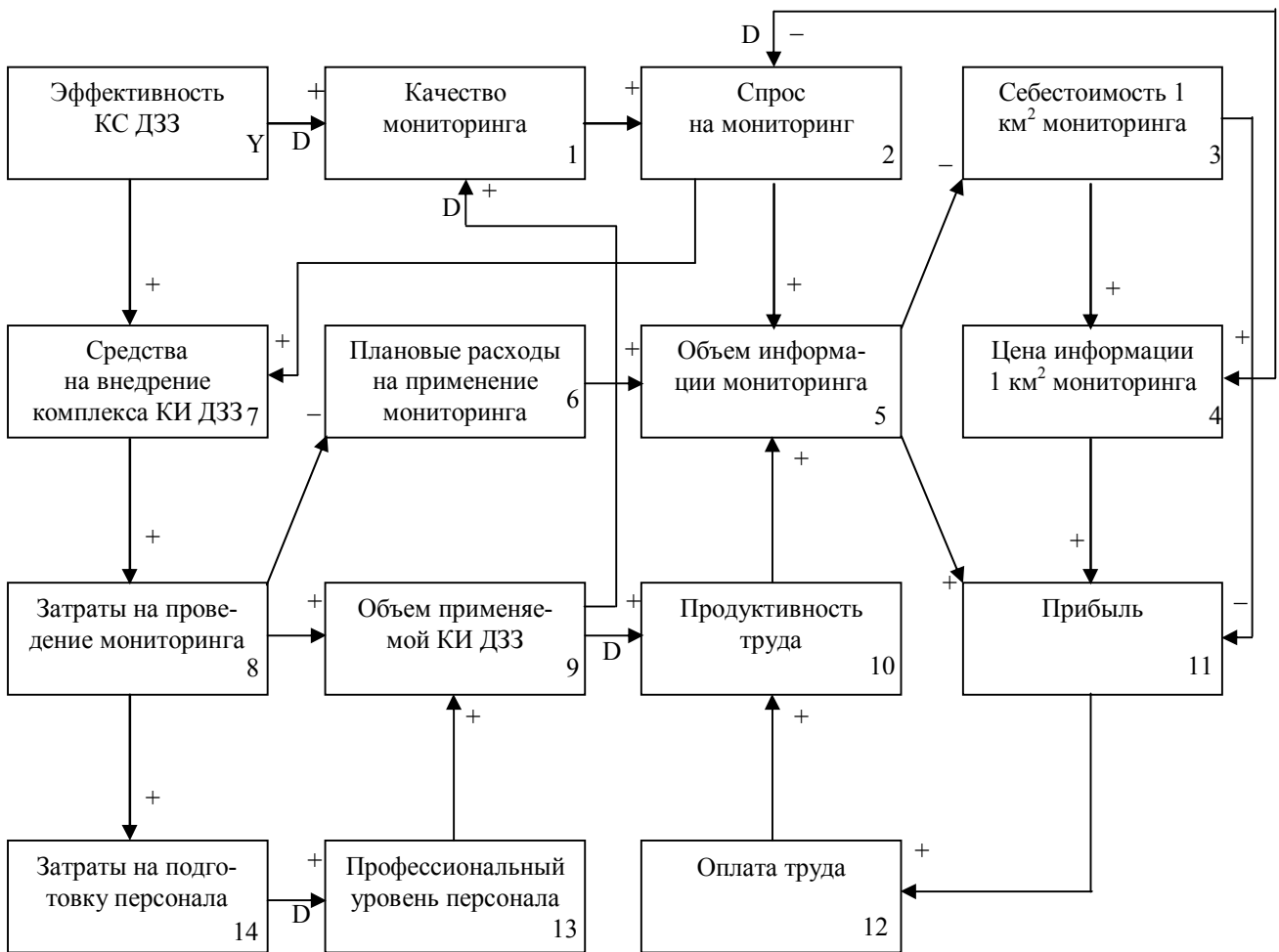


Рис. 1. Схема взаимосвязи в модели внедрения космической информации дистанционного зондирования в систему экологического мониторинга

Системные связи или функции влияния ( $\alpha$ ) должны быть определены непосредственно по данным наблюдений или заданны экспертами. Для этого необходимо привлечь дополнительную информацию о характере причинно-следственных связей в ЭХМ. Эта информация входит в модель как экспертная оценки интенсивности связей, которые существуют между уровнями (компонентами вектора состояния) ЭХМ.

Исходя из концептуальной модели, строится системная диаграмма, в которой для уровней введены потоки и цепи обратных связей. Причинно-следственные связи в системной диаграмме, выраженные с помощью функций влияния через соответствующие потоки, обеспечивают взаимное влияние компонентов вектора состояния ЭХМ и динамическое равновесие системы. Функция влияния уровня  $X_n$  на уровень  $X_\tau$ , соответственно виду их взаимосвязи записывается как  $\alpha_\tau(X_n)$  или  $\alpha_\tau(\Delta X_n)$ , где  $X_n$  – значение  $n$ -го уровня,  $\Delta X_n$  – его прирост. Выбор и уточнение функций влияния выполняется в имитационных экспериментах, исходя из сходимости модельных оценок параметров системы к наблюдениям.

После построения системной диаграммы появляется возможность записать динамические уравнения модели в явном виде [5]. Для формализации модели вводится интервал времени  $\tau$ , на протяжении которого значения функций влияния можно приблизительно считать постоянными. Тогда для моментов времени  $t_j$  и  $t_k$  получим систему динамических уравнений модели внедрения КИ ДЗЗ в ЭХМ:

$$\begin{aligned} X_{1k} &= X_{1j} + \tau \cdot X_{1j} [\alpha_{x1} D_1(\Delta Y) + \alpha_{x1} D_3(\Delta X_9)]; \\ X_{2k} &= X_{2j} + \tau \cdot X_{2j} [\alpha_{x2}(\Delta X_1) - \alpha_{x2} D_2(\Delta X_4)]; \\ X_{3k} &= X_{3j} + \tau \cdot X_{3j} [-\alpha_{x3}(\Delta X_5)]; \\ X_{4k} &= X_{4j} + \tau \cdot X_{4j} [\alpha_{x4}(\Delta X_3) + \alpha_{x4} D_2(\Delta X_2)]; \\ X_{5k} &= X_{5j} + \\ &+ \tau \cdot X_{5j} [\alpha_{x5}(\Delta X_2) - \alpha_{x5}(\Delta X_6) + \alpha_{x5}(\Delta X_{10})]; \\ X_{6k} &= X_{6j} + \tau \cdot X_{6j} [-\alpha_{x6}(\Delta X_8)]; \\ X_{7k} &= X_{7j} + \tau \cdot X_{7j} [\alpha_{x7}(\Delta Y) + \alpha_{x7}(\Delta X_2)]; \\ X_{8k} &= X_{8j} + \tau \cdot X_{8j} [\alpha_{x8}(\Delta X_7)]; \\ X_{9k} &= X_{9j} + \tau \cdot X_{9j} [\alpha_{x9}(\Delta X_8) + \alpha_{x9}(\Delta X_{13})]; \\ X_{10k} &= X_{10j} + \tau \cdot X_{10j} [\alpha_{x10} D_4(\Delta X_9) + \alpha_{x10}(\Delta X_{12})]; \\ X_{11k} &= X_{11j} + \\ &+ \tau \cdot X_{11j} [-\alpha_{x11}(\Delta X_3) + \alpha_{x11}(\Delta X_4) + \alpha_{x11}(\Delta X_5)]; \\ X_{12k} &= X_{12j} + \tau \cdot X_{12j} [\alpha_{x12}(\Delta X_{11})]; \\ X_{13k} &= X_{13j} + \tau \cdot X_{13j} [\alpha_{x13} D_5(\Delta X_{14})]; \\ X_{14k} &= X_{14j} + \tau \cdot X_{14j} [\alpha_{x14}(\Delta X_8)], \end{aligned}$$

где  $k$  и  $j$  – номера временных выделений моделирования процесса ДЗЗ.

Функции влияния обозначены таким образом: коэффициент при  $\alpha$  указывает на какой уровень направлено влияние, а в дужках указан уровень, который влияет. Так, например,  $\alpha_{x1}(\Delta X_2)$  означает функцию влияния прироста уровня  $X_2$  на уровень  $X_1$ .

## Выводы

Имитационные эксперименты с моделью эколого-хозяйственного мониторинга показали, что последняя адекватно реагирует на изменения у нее входных уровней, позволяет наблюдать динамику вектора состояния системы и находить сценарии стойкого функционирования ЭХМ, при которых задачи мониторинга согласовываются с рациональным использованием КИ ДЗЗ. Уточняя функции влияния, можно обосновать такой сценарий функционирования ЭХМ, при котором используемый объем и соответствующие затраты на КИ ДЗЗ будут поддерживаться на уровне, который удовлетворяет спрос потребителей информации и ресурсным возможностям, предназначенным для выполнения мониторинга.

## Список литературы

1. Калашиков В.В. Сложные системы и методы их анализа. – М.: Знание, 1980. – 64 с.
2. Козелков С.В. Актуальные вопросы глобального информационного обеспечения развития района // Труды Межд. конф. „Экология и космос. Пути разрешения социально-экологических проблем Азово-черноморского региона”. – Симферополь: Таврия. – 1994. – 34 с.
3. Козелкова Е.С. Методика повышения качества моделирования многоспутниковой низкоорбитальной экологической системы дистанционного зондирования Земли: Монография. – К.: НАОУ, 2006. – 124 с.
4. Лялько В.И., Попов М.О. Багато спектральні методи дистанційного зондування землі в задачах природо-користування: Монографія. – К.: Наукова думка, 2006. – 357 с.
5. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / А.Г. Зюко, А.И. Фалько, И.П. Панфилов и др.; Под ред. А.Г. Зюко. – М.: Радио и связь, 1985. – 269 с.
6. Спутниковые системы связи и вещания // Приложение № 1 (Вып. 1), к ежегоднику «Радиотехника» 1997-1998. – М.: ИПРЖР. – 1997. – 97 с.
7. Спутниковые системы связи и вещания // Приложение № 2 (Вып. 1), к ежегоднику «Радиотехника» 1997-1998. – М.: ИПРЖР. – 1997. – 82 с.

Поступила в редакцию 12.06.2007

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Л.Ф. Купченко, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.