

УДК 004.7.052:004.414.2

**Савченко А.С.**, к.т.н.;

**Холявкина Т.В.**, к.т.н.

Национальный авиационный университет;

**Гуйда О.Г.**

ст. преподаватель АМУ

## ОБЕСПЕЧЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТЬЮ

*Предложен усовершенствованный метод приведения системы управления телекоммуникационной сетью к устойчивому состоянию при изменениях задержки сигнальной и управляющей информации.*

*Запропоновано удосконалений метод приведення системи управління телекомунікаційною мережею до стійкого стану при змінах затримки сигнальної і керуючої інформації.*

*An improved method of bringing telecommunication network control system to steady state at media-tries delayed signal and control information.*

**Введение.** Основной задачей корпоративных и телекоммуникационных сетей (ТКС) является предоставления качественных услуг по распределенной обработке информации. Решение поставленной задачи в значительной степени определяется развитостью механизма управления наявными сетевыми ресурсами. Для управления крупными сетями, включающими большое количество активного оборудования, необходимы сложные системы управления (СУ), осуществляющие контроль и управление каждым элементом, а также состоянием сети в целом.

**Анализ исследований и публикаций.** В [1] предлагается СУ компьютерной сетью (КС), в которой для решения задач идентификации и

прогнозирования состояния КС применяются средства, использующие аппарат теории нейронных сетей. В [2] предложена СУ, выполняющая мониторинг, идентификацию и прогнозирование состояния сети в реальном времени (рис. 1).

В указанной СУ по результатам анализа параметров и структуры сети строится двухуровневая эталонная модель (ЭМ) сегмента ТКС. Первый уровень которой отвечает за активное оборудование, второй – за состояние сети. Такой подход позволяет отделить задачу управления надежностью оборудования от задачи анализа и управления топологией сети. На базе ЭМ выполняется прогноз состояния. Полученные данные являются основой для формирования и выбора оптимальной стратегии управления администратором и экспертной системой. Анализ эффективности работы администратора проводится посредством сравнения стратегии управления выбранной администратором, предложенной экспертной системой и полученных в результате управления состояний сети.

Сложность управления ТКС или ее автономным сегментом заключается в наличии случайных задержек управляющей и сигнальной информации, неполноте априорной информации о параметрах и состоянии сетевого оборудования. Это может приводить к осцилляциям нагрузки на сетевые узлы и потере устойчивости СУ. Вопрос обеспечения устойчивости в указанных работах не рассматривался.

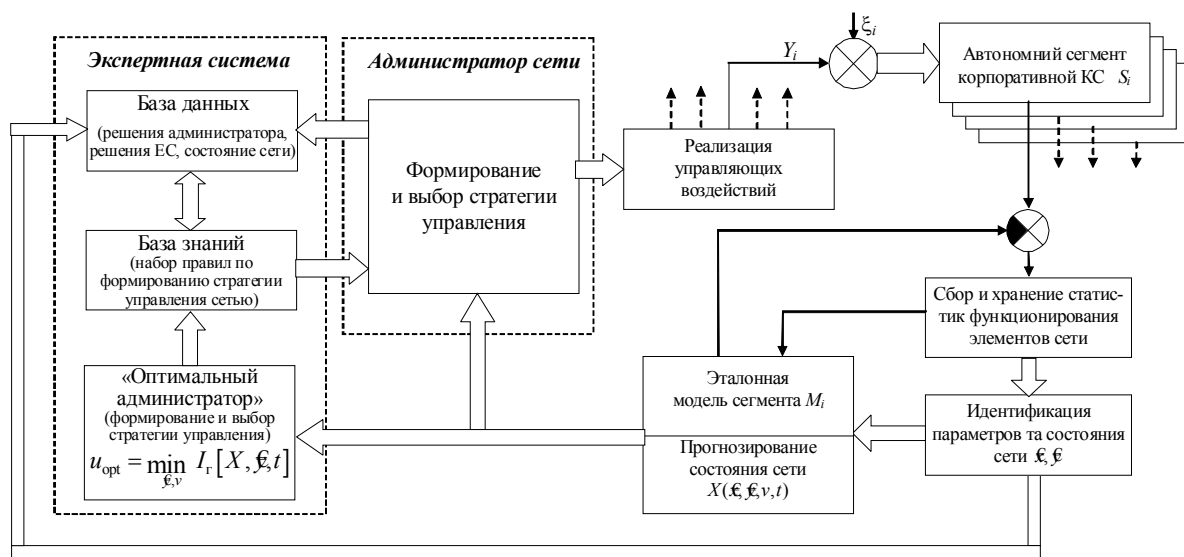


Рис. 1. Концептуальная модель СУ автономным сегментом телекоммуникационной сети [2].

**Постановка задачи.** Таким образом, целью данной работы является конкретизация сформулированной задачи управления ТКС, как распределенной системой с задержками управляющей и сигнальной информации, для получения условий устойчивой работы. При этом должно поддерживаться требуемое качество управления, которое зависит от динамических характеристик СУ.

**Исходные данные и ограничения.** ТКС можно считать дискретными системами с запаздыванием. Поэтому в соответствии с общей теорией управления процессы обмена информацией между управляемыми объектами (автономными сегментами)  $S_i$  сети и СУ могут быть описаны разностными уравнениями с отклоняющимися аргументами [3, 4]:

$$y_{as_i}(n) \approx y_{as_i}(n-1) + b_i y_{as_i}(n-k) + u_{opt_i}(n-m), \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots \quad (1)$$

где  $y_{as}(n)$  - функция состояния объекта;  $u(n-m)$  - управляющий сигнал;  $k$  и  $m$  являются задержками сигналов состояния и управления соответственно.

В общем случае  $n \neq m$ .

Системная функция объекта, описываемая уравнением (1), имеет вид:

$$H(z) = \frac{z^{-m}}{1 - z^{-1} - bz^{-k}}. \quad (2)$$

Характеристический полином системной функции (2) в результате задержек информации приобретает специфический вид:

$$z^k - z^{k-1} - b = 0. \quad (3)$$

Для обеспечения устойчивой работы СУ ТКС необходимо постоянно контролировать ее состояние, в первую очередь – состояние загруженности отдельных маршрутов и сетевых коммутационных узлов. Задача осложняется тем, что задержки доставки сигнальной и управляющей информации носят случайный характер и могут меняться в широких пределах. Даже для простейшей динамической системы, описываемой дифференциальным уравнением первого порядка с постоянными коэффициентами, появление запаздывания аргумента приводит к появлению последействия (формально – к произвольному изменению порядка уравнения). При этом если исходное уравнение устойчиво, то устойчивость уравнения с запаздывающим аргументом не гарантируется [3, 4]. Проблема осложняется еще тем, что в конкретном рассматриваемом случае запаздывание аргумента – величина случайная и может меняться в широких пределах.

Таким образом, ограничением предложенной модели является риск потери устойчивости при случайных изменениях задержек, то есть порядка уравнения (3), а также при попытке достижения нужного качества управления путем простого увеличения коэффициента усиления  $b$  в контуре обратной связи. Поэтому необходим постоянный контроль устойчивости СУ и приведения ее к устойчивому состоянию при необходимости.

**Метод обеспечения устойчивости системы управления.** В работе [5] показано, что имеет место идентичность амплитудно-частотных характеристик как устойчивой, так и неустойчивой систем, следовательно, динамические свойства рассматриваемых систем также будут идентичными. Вид, качество и параметры переходных процессов в обеих системах одинаковы, т.е. устойчивая система сходится с той же скоростью, с какой как неустойчивая расходится. Вид переходных процессов также один и тот же: у обеих систем процесс является или колебательным, или апериодическим.

Используя это свойство цифровых динамических систем, можно реализовать принудительное зеркальное отображение полюсов, находящихся за пределами единичной окружности  $z$ -плоскости, внутрь ее. Алгоритм является следующим.

1. Задается порядок уравнения.
2. Задается коэффициент обратной связи.
3. Вычисляются корни уравнения  $r_i, i = \overline{1, k}$ .
4. Находятся модули корней.
5. Если модуль  $r_{\text{mod}} > 1$ , находится отраженный корень  $r_{fi}$ :
  - для вещественного корня  $r_{fi} = 1/r_i$ ;
  - для комплексного корня  $r_i = a_i \pm jd_i$ :

$$r_{fi} = \frac{a_i}{a_i^2 + d_i^2} \pm j \frac{d_i}{a_i^2 + d_i^2}.$$

6. Если модуль  $r_{\text{mod}} = 1$ , уменьшаем  $r_{fi} = 1 - \varepsilon, \varepsilon \ll 1$ .

7. Вычисляются коэффициенты нового полинома с полюсами, отраженными внутрь единичной окружности  $z$ -плоскости.

Однако при скачкообразном изменении коэффициентов цифровой системы в моменты скачков возникают разрывы сигнала ошибки, что

приводит к пульсациям Гиббса и, как следствие, к перерегулированию в СУ. Для уменьшения эффекта Гиббса предложено изменять коэффициенты и, соответственно, переводить систему в устойчивое состояние плавно на конечном интервале.

**Выбор функции для обеспечения требуемого качества управления.** Вид функции плавного перевода системы в область устойчивости напрямую влияет на качество и параметры переходных процессов в СУ.

Наиболее эффективными функциями плавного возвращения полюсов внутрь единичной окружности являются гармонические (или комбинация гармонических) и экспоненциальные вида:

$$k(n) = \left( \frac{k_0 - k_{\min}}{2} \right) \cos \frac{2\pi n}{N} + k_{\min}, \quad (4)$$

$$k(n) = \left( \frac{k_0 - k_{\min}}{2} \right) \sin \frac{2\pi n}{N} + k_{\min}, \quad (5)$$

$$k(n) = \left( \frac{k_0 - k_{\min}}{2} \right) \left( \sin \frac{2\pi n}{N} + \sin \frac{8\pi n}{N} \right) + k_{\min}, \quad (6)$$

$$k(n) = \left( \frac{k_0 - k_{\min}}{2} \right) \cos \left[ \frac{2\pi n}{N} \right] + k_{\min}, \quad (7)$$

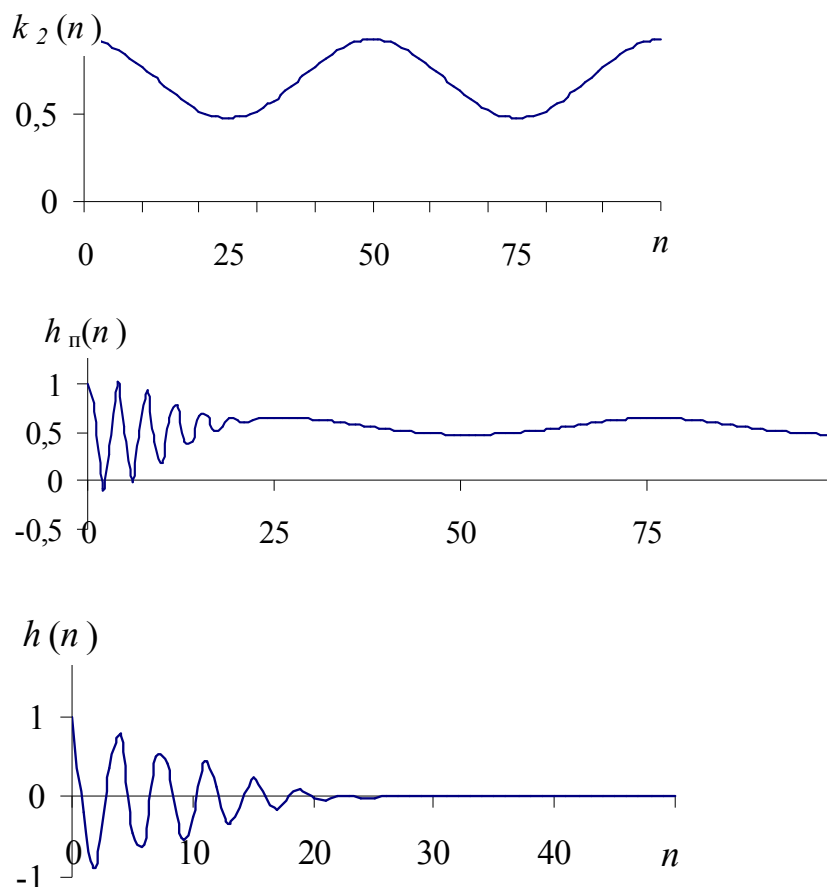
$$k(n) = \left( \frac{k_0 - k_{\min}}{2} \right) e^{-n} + k_{\min}, \quad (8)$$

поскольку они являются дифференцируемыми бесконечное число раз, и при любых видах возмущений (скачок, линейно нарастающее воздействие и др.) разрыв непрерывности в функции управления не будет иметь места.

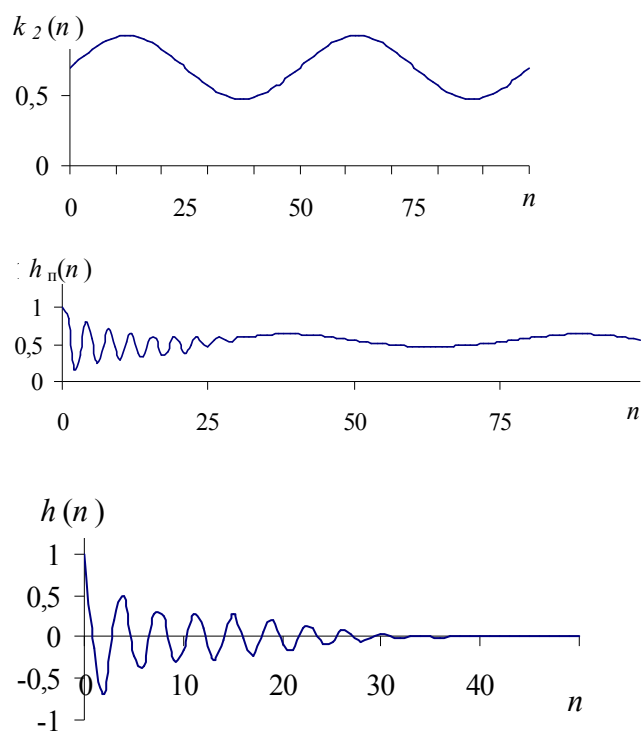
Здесь  $k(n)$  – коэффициент, меняющийся от начального значения  $k_0 > 1$  до обратного (минимального) значения  $k_{\min} \leq 1/k_0$  с периодом  $N=50$ ;  $n = 0, 1, 2, \dots$ .

В качестве иллюстративного примера рассмотрены характеристики СУ, описываемой дифференциальным уравнением второго порядка с начальными коэффициентами  $b_{21} = -0,3125$ ,  $b_{22} = -1,25$ , которые уменьшаются по формуле  $k(n)$  до значений  $b_{11} = -0,2$ ,  $b_{12} = -0,8$ .

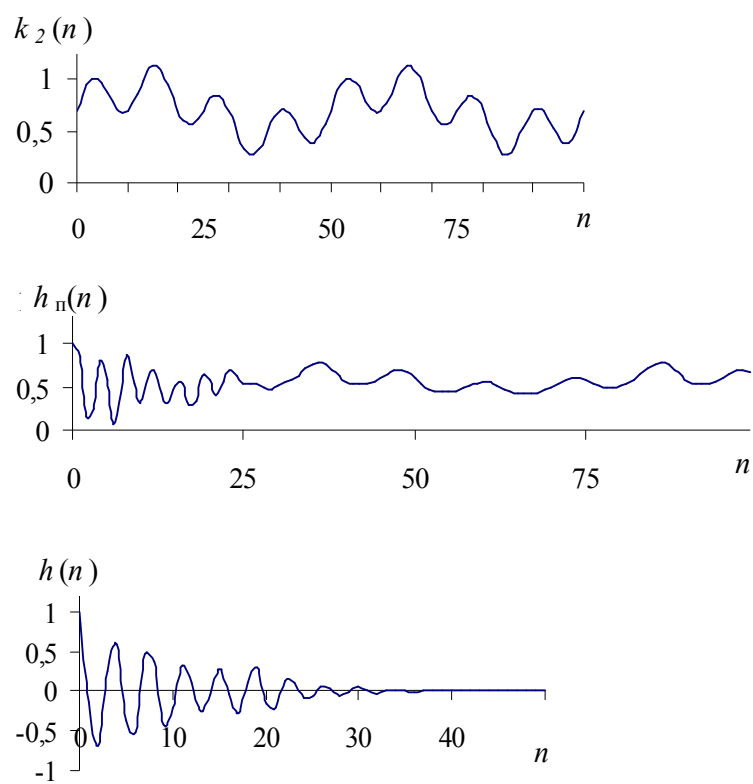
На рис. 2 показаны графики изменения коэффициента обратной связи (слева), переходная (по центру) и импульсная (справа) характеристики системы при использовании указанных функций.



а) применение функции вида (4)

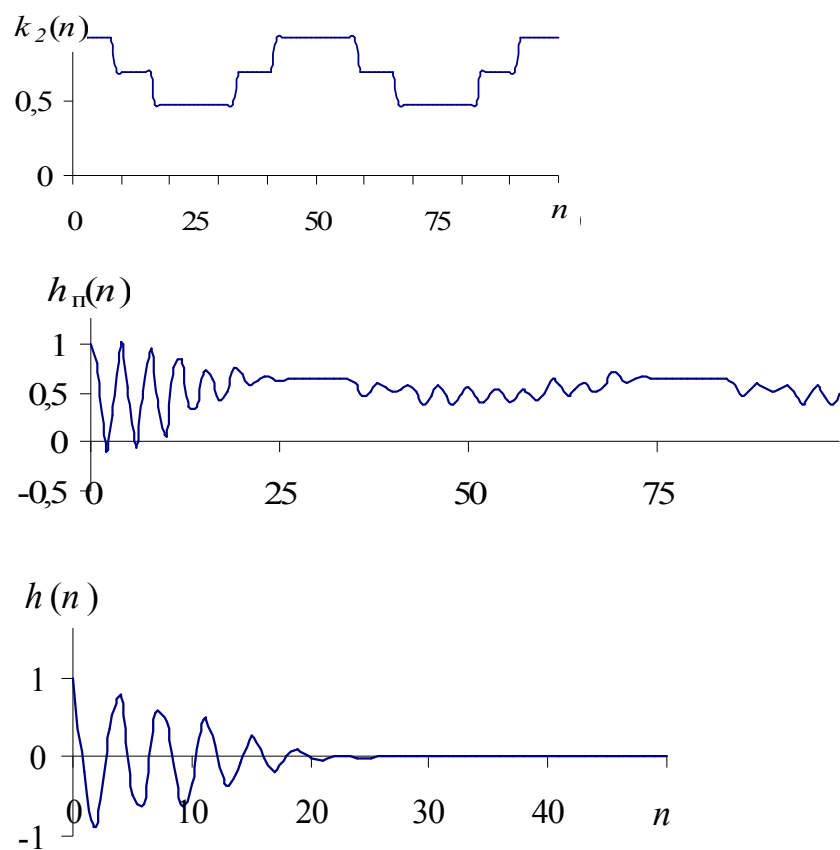


б) применение функции вида (5)

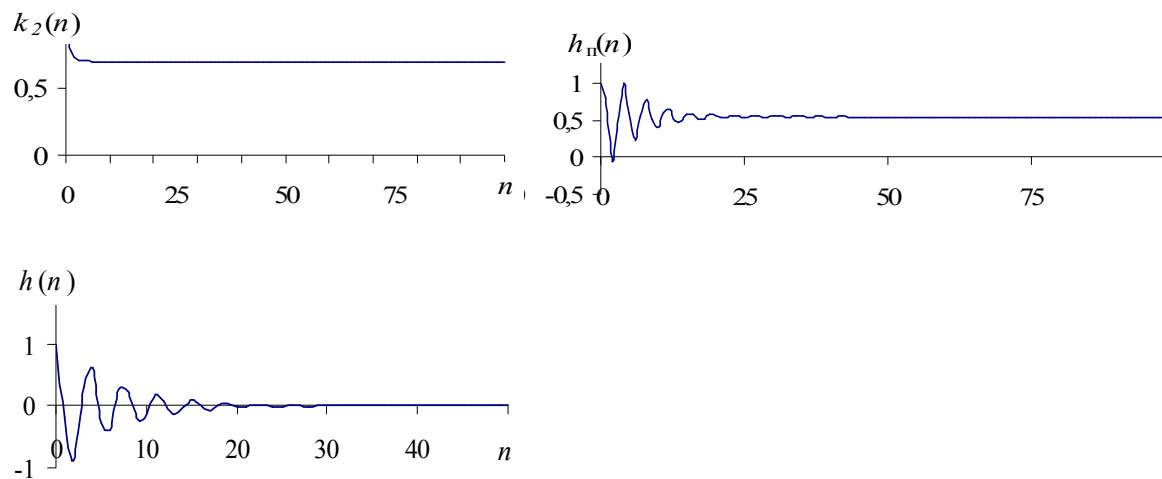


в) применение функции вида (6)





г) применение функции вида (7)



д) применение функции вида (8)

Рис. 2. Графики изменения коэффициента  $b_{22}$ , переходные и импульсные характеристики

В табл. 1 представлены основные динамические характеристики переходного процесса при использовании указанных функций.

Таблица 1

### Динамические характеристики переходного процесса

Функция изменения коэффициентов	Дисперсия динамической ошибки, $\sigma_{\text{дин.}}^2$	Величина перерегулирования, $\delta$	Длительность переходного процесса, $n$	$k_{2 \min}$
Функция вида (4)	0,020	0,838	22	0,475
Функция вида (5)	0,012	0,786	35	0,475
Функция вида (6)	0,019	0,672	30	0,271
Функция вида (7)	0,026	0,895	25	0,475
Функция вида (8)	0,010	0,840	20	0,7

По графикам видно, что при неограниченном росте  $n$  импульсная характеристика системы асимптотически приближается к нулю, а переходная характеристика – к стационарному значению. Следовательно, на интервале наблюдения система является глобально устойчивой.

В установившемся режиме применение функции вида (6) приводит к отражению полюса не строго зеркально, а до значительно меньшего значения, чем обратное. Это позволяет гарантировать дополнительную устойчивость.

При использовании функций вида (4), (5) и (7) также возможно отражать полюса до меньшего значения чем обратное, однако показатели качества управления хуже, чем в предыдущем случае.

Использование функции вида (8) позволяет привести систему в установившееся состояние быстрее и с меньшей динамической ошибкой. Кроме того данная функция, в отличие от предыдущих, достаточно проста в вычислении.

Таким образом, для обеспечения устойчивости СУ рекомендуется выбирать функции вида (6) либо (8).

### **Выводы**

1. Сложность управления ТКС заключается в наличии случайных задержек управляющей и сигнальной информации, неполноте априорной информации о параметрах и состоянии сетевого оборудования. Это может приводить к осцилляциям нагрузки на сетевые узлы и потере устойчивости системы управления.

2. Для эффективного управления необходимо обеспечить устойчивость СУ при изменении коэффициентов обратной связи.

3. Устойчивость системы может быть обеспечена путем зеркального отражения полюсов, находящихся вне единичной окружности  $z$ -плоскости, внутрь единичной окружности.

4. При скачкообразном изменении коэффициентов цифровой системы в моменты скачков возникают разрывы сигнала ошибки, что приводит к пульсациям Гиббса и, как следствие, к перерегулированию в СУ.

5. Предлагается усовершенствованный метод возврата системы в область устойчивости, основанный на плавном изменении коэффициентов обратной связи.

6. Анализ динамических характеристик переходного процесса (табл. 1), показал, что использование функций вида (7) позволяет отражать полюса до меньшего значения, чем обратное и

гарантирует дополнительную устойчивость системы. Применение функции вида (11) обеспечивает высокое быстродействие системы, с наименьшим значением динамической ошибки.

*Использованные источники информации:*

1. Иванов И.А., Леохин Ю.Л. Способ управления компьютерной сетью и система для его осуществления. Патент на изобретение № 2309451 от 27.10.2007 г.
2. Савченко А.С. Концептуальная модель системы управления крупной корпоративной сетью / А.С. Савченко // Проблемы інформатизації та управління: Зб. наук. пр. – К.: НАУ, 2011. – Вип. 2(34). – С. 120-128.
3. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического регулирования / В.А. Бесекерский, Е.П. Попов. – М.: Наука, 1975. – 768 с.
4. Эльсгольц Л.Э. Введение в теорию дифференциальных уравнений с отклоняющимся аргументом / Эльсгольц Л.Э., Норкин С.Б. // – М.: Наука, 1971. – 296 с.
5. Лукашенко В.В. Характеристики системы управления корпоративной сетью при наличии случайных задержек доставки управляющей и сигнальной информации / В.В. Лукашенко // Наукові записки УНДІЗ: Наук.-виробн. зб. – К.: УНДІЗ, 2011. – Вип. 3(19). – С. 62-68.