

environmental conditions in the northern part of VAP using L.G. Ramensky scales and DCA-ordination]. *Geodezija i aerofotosemka* [Surveying and Aerial Photography], 2010, no. 5, p. 21–24.

2. Barmin A. N., Golub V. B., Iolin M. M., Sharova I. S. Geobotanicheskiy monitoring lugovykh je-kosistem severnoj chasti Volgo-Ahtubinskoj pojmy [Geobotanical monitoring of meadow ecosystems of the northern part of the Volga-Akhtuba floodplain]. *Geologija, geografija i global'naja jenergiya* [Geology, Geography and Global Energy], 2011, vol. 40, no. 1, pp. 104–112.

3. Bolgov M. V., Krasnozhon G. F., Shatalova K. Yu. Ocenka vodoobespechenija rajona nizhnej Volgi i ee del'ty s pomow'ju komp'juternyh modelej [Assessment of water supply of the region of the Lower Volga and its delta by means of computer models]. *Sovremennoe sostojanie vodnyh resursov Nizhnej Volgi i problemy ih upravlenija* [The current state of water resources of the Lower Volga and problems of their control]: mat-ly nauch.-prakt. konf. (18–19 nojabrja 2009, g. Astrahan'). Astrakhan: AGU, KaspNIRH, AGTU, 2009, pp. 27–31.

4. Geoinformacionnaja sistema Karta 2011 [Geoinformation system Map 2011]: rukovodstvo pol'zovatelja. Noginsk: Panorama, 2012, Available at: <http://gistoolkit.ru/download/doc/mapguide.pdf>.

5. Hoperskov A. V., Hrapov S. S., Pisarev A. V., Kobelev I. A., Kudina I. G. Prjamoe modelirovanie dinamiki poverhnostnyh vod na territorii Volgo-Ahtubinskoj pojmy [Direct modeling of the dynamics of surface waters in the Volga-Akhtuba floodplain]. *Superkomp'juternye tehnologii v nauke, obrazovanii i promyshlennosti* [Supercomputer Technologies in Science, Education and Industry]. Moscow: Izd-vo Moskovskogo un-ta, 2012, pp. 177–181.

6. Hrapov S. S., Kobelev I. A., Pisarev A. V., Hoperskov A. V. 4D-modeli v zadachah jekologicheskogo modelirovanija: proektirovanie informacionnoj sistemy [4D-models in environmental modeling: design of the information system]. *Vestnik VolGU* [Bulletin of VolSU], 2011, no. 5, p. 119–124, (Ser. 10. Innovacionnye tehnologii).

7. Hrapov S. S., Pisarev A. V., Voronin A. A., Kobelev I. A. Osobennosti dinamiki zatoplenija Volgo-Ahtubinskoj pojmy v za-visimosti ot rezhimov isparenija i infil'tracii [Dynamics of flooding of the Volga-Akhtuba floodplain depending on modes of evaporation and infiltration]. *Vestnik VolSU* [Bulletin of VolSU], 2012, vol. 15, no. 1. 5 p., (Ser. 1: Matematika. Fizika).

8. Hrapov S. S., Hoperskov A. V., Eremin M. A. Modelirovanie dinamiki poverhnostnyh vod: monografija [Modeling of surface water dynamics]. Volgograd: VolSU, 2010. 132 p.

9. Hrapov S. S., Hoperskov A. V., Kuz'min N. M., Pisarev A. V., Kobelev I. A. Chislennaja shema dlja modelirovanija dinamiki poverhnostnyh vod na osnove kombinirovannogo SPH-TVD-podhoda [The numerical scheme for modeling of surface water dynamics based on the combined SPH-TVD-approach]. *Vychislitel'nye metody i programmirovanie* [Numerical Methods and Programming], 2011, vol. 12, no. 1, pp. 282–297.

10. Shuvaev N. S., Barmin A. N., Kolchin E. A. Ispol'zovanie materialov distancionnogo zondirovanija Zemli i geograficheskikh informacionnyh sistem pri issledovanii ruslovyh deformatcij [The use of data of Earth remote sensing and geographic information systems in the study of channel deformation]. *Geologija, geografija i global'naja jenergiya* [Geology, Geography and Global Energy], 2010, vol. 39, no. 4, pp. 119–121.

УДК УДК 592: 51-76

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ПЕРЕДАЧИ ОПТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ НАСЕКОМЫМ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДА ВНЕШНЕЙ ФИЛЬТРАЦИИ

Плешкова Юлия Александровна, аспирант

Лихтер Анатолий Михайлович, доктор технических наук, доцент

Астраханский государственный университет
414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а
E-mail: pjulia@pisem.net, Likhter@bk.ru

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

В ряде предыдущих работ авторами показано, что энергетические и информационные характеристики системы передачи оптической информации насекомым зависят от таких параметров как: время года и суток, особенности географического ландшафта местности, а также геометрических размеров биокibernетической системы (БКС). При этом значение функции «отношение сигнал/шум» не может превысить некоторого максимального значения, обусловленного как вышеуказанными факторами, так и выбором источника излучения, так и принадлежностью рецепторных органов зрения насекомого к одному из возможных классов: монохромного, дихромного или трихромного.

Для увеличения количества оптической информации, передаваемой насекомому и, как следствие, повышения эффективности процесса управления поведением насекомых предложено использовать метод внешней (оптической) фильтрации, который заключается во введении в канал передачи информации селективного оптического фильтра, параметры которого рассчитываются из условия максимизации информационной пропускной способности канала.

Статья посвящена моделированию процесса передачи оптической информации насекомым с использованием метода оптической фильтрации, который осуществляется в биокibernетической системе (БКС), состоящей из источника управляющего сигнала, селективного оптического фильтра, канала передачи информации (внешней среды) и объекта управления (насекомого). В рассматриваемой математической модели учтены шумы от искусственных источников электромагнитного излучения оптического диапазона, а также влияние режима естественной освещенности в различное время года и суток, геометрических параметров БКС и особенностей ландшафта местности на энергетические и информационные характеристики процесса передачи информации.

Ключевые слова: математическое моделирование, биокibernетическая система (БКС), оптическое излучение, передача информации, насекомые, датчик случайных чисел, метод оптической фильтрации.

INCREASE OF EFFICIENCY OF OPTICAL INFORMATION TRANSMISSION TO INSECTS USING METHOD OF EXTERNAL FILTRATION

Pleshkova Julia A., post-graduate student

Likhter Anatoly M., D.Sc. (Engineering), Associate Professor

Astrakhan State University

20a Tatishchev st., Astrakhan, 414056, Russia

E-mail: pjulia@pisem.net, Likhter@bk.ru

In several previous papers the authors show that energy and information characteristics of optical information transmission to insects depend on parameters such as season and day time, features of the geographical landscape of the area, as well as the geometric dimensions of biocybernetic system (BCS). The value of the function "signal/noise ratio" can not exceed a maximum value due to the above factors as well as the choice of radiation source and belonging of receptor visual organs of insect to one of the possible classes: monochrome, dichrome or triachrome ones.

To increase the number of optical information transmitted to insects and, consequently, to rise the efficiency of insect behavior control it is proposed to use the method of external (optical) filtration, which consists in introduction of selective optical filter to the information transmission chan-

nel which parameters are calculated from the conditions of maximizing the information capacity channel.

The paper is devoted to modeling of optical information transmission to insect using the optical filter, which is in the biocybernetic system (BCS), consisting of power control signal, selective optical filter, channel of communication (external environment) and management object (insect). Our mathematical model considers the noise from artificial sources of electromagnetic radiation in the optical range and the influence of the regime of natural light in different season and day time, the geometric parameters of BCS and the landscape area features on the energy and information characteristics of the process of information transmission.

Keywords: Mathematical modeling, Biocybernetic system (BCS), Optical radiation, Information transmission, Insects, Random number sensor, Method of optical filtration.

1. Введение

В связи с развитием области технической кибернетики, основанной на использовании биофизических процессов для управления поведением биологических объектов, в частности насекомых, возникла необходимость решения актуальной проблемы повышения эффективности биокибернетических систем (БКС) [6, 7]. Одним из способов улучшения характеристик оптико-электронных систем является применение метода внешней (оптической) фильтрации сигнала и расчет рабочих параметров их элементов на основе информационных критериев качества: функции «отношение сигнал/шум» C / Π и информационной пропускной способности канала передачи оптической информации Π [5]:

$$C / \Pi, \quad (1)$$

$$\Pi = \Delta f \cdot \log_2(1 + C / \Pi), \quad (2)$$

где Δf – полоса частот, воспринимаемая органом зрения насекомого.

О результативности применения указанной методики проектирования БКС можно судить по величине $\eta = \frac{\Pi_2}{\Pi_1}$, где Π_2, Π_1 – значения информационной пропускной способности канала с использованием оптического фильтра и без него.

2. Математическая модель процесса передачи оптической информации насекомым

Сигнал, воспринимаемый глазом насекомого [7], можно рассчитать в виде:

$$C = \frac{m}{x^2} \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} r(\lambda) \cdot f(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot \exp(-q(\lambda) \cdot x) d\lambda, \quad (3)$$

Считая, что шумы от естественных и искусственных источников излучения аддитивно складываются [4], приходим к выражению для общего шума в виде:

$$\Pi = \Pi_c + \Pi_{c.o} + \Pi_u + \Pi_{c.z} + \Pi_{u.o}, \quad (4)$$

где $\Pi_c + \Pi_{c.o} + \Pi_u + \Pi_{c.z} + \Pi_{u.o}$ – шумы, обусловленные прямой солнечной засветкой, а также отражением соответственно солнечного и искусственного излучения от земной поверхности и нижней кромки облачного покрова.

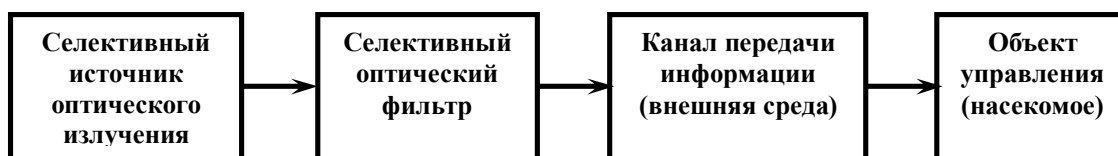


Рис. 1. Схема биок cyberнетической системы управления поведением насекомых с использованием метода оптической фильтрации

С учетом математической модели канала передачи оптической информации в системах управления поведением насекомых [8, 12] выражения для шумов $III_{c.o}$, $III_{u.o}$, обусловленные отражением излучения Солнца и искусственного селективного источника от облаков, имеют вид:

$$III_{c.o} = \frac{m}{\pi} \cdot \left(\frac{R_c}{R_{c.o}} \right)^2 \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \xi(\lambda, T) \cdot k(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot Noise(\lambda) \cdot \exp(-q(\lambda)) \cdot (1 - \rho(\lambda)) d\lambda, \quad (5)$$

$$III_{u.o} = \frac{m}{h_2^2 \cdot \pi} \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} r(\lambda) \cdot \tau(\lambda) \cdot Noise(\lambda) \cdot \exp(-q(\lambda) \cdot h_2) \cdot (1 - \rho(\lambda)) d\lambda, \quad (6)$$

где $\xi(\lambda, T)$ – спектральное распределение излучения Солнца, R_c , $R_{c.i}$ – радиусы Солнца и земной орбиты соответственно, $Noise(\lambda) = (\mu(\lambda)S_1 + \nu(\lambda)S_2 + \psi(\lambda)S_3)$, $\mu(\lambda), \nu(\lambda), \psi(\lambda)$ – спектральные характеристики отражения почвы, воды и растительности соответственно, S_1, S_2, S_3 – их весовые коэффициенты, которые задаются с помощью датчика случайных чисел, генерирующего последовательность с равномерным распределением в заданном интервале значений, $\rho(\lambda)$ – спектральный коэффициент поглощения нижней кромки облачного слоя [6, 13].

Датчик случайных чисел применяется для имитации реальных условий функционирования систем управления [1]:

$$\begin{aligned} S_1 &= rnd(1) \\ S_2 &= rnd(1 - S_1), \\ S_3 &= 1 - S_1 - S_2 \end{aligned} \quad (7)$$

где $rnd(1)$ – функция, позволяющая получить равномерно распределенное случайное число в заданном интервале значений [0, 1].

В качестве примера для дальнейших расчетов будем использовать произвольные варианты N_1, N_2, N_3 наборов весовых коэффициентов S_1, S_2, S_3 (табл. 1).

Таблица 1

**Наборы весовых коэффициентов отражательных характеристик
природных поверхностей**

	N_1	N_2	N_3
S_1	0,696	0,543	0,211
S_2	0,133	0,199	0,437
S_3	0,171	0,257	0,353

В результате расчетов $III_{c.o}$ и $III_{u.o}$ по (5), (6) установлено, что данные виды шумов слабо влияют на значение функции «отношение сигнал/шум» что позволяет пренебречь ими в выражении (4).

Для описания шумов III_c , $III_{c.z}$ исследуем влияние времени года и суток на интенсивность солнечного излучения оптического диапазона, падающего на поверхность Земли. Энергетическая освещенность земной поверхности на заданной широте φ при ясной погоде в заданное время t суток равна [7]:

$$E(n, t) = \begin{cases} Q \cos \theta(n, t), & \cos \theta(n, t) > 0 \\ 0, & \cos \theta(n, t) < 0 \end{cases}, \quad (8)$$

где Q – постоянная инсоляции, равная солнечной постоянной, n – число полных суток, прошедших от начала года, время t задается в интервале ($0 < t < \tau_0$), где τ_0 – солнечные сутки ($\tau_0=24$ часа).

Зависимость от времени косинуса угла падения θ солнечных лучей имеет вид:

$$\cos \theta(n, t) = \cos \delta(n) \cdot \cos \left[\frac{2\pi}{\tau_0} \left(t + \frac{\tau_0}{2} \right) \right] + \sin \delta(n). \quad (9)$$

Здесь δ – склонение, которое дополняет до $\pi/2$ угол между земной осью и направлением к центру солнечного диска. Синус угла склонения Солнца δ как функция числа n истекших суток от начала года выражается формулой:

$$\sin \delta(n) = \sin \eta \cdot \cos \varepsilon(n), \quad (10)$$

где η – угол между земной осью и перпендикуляром к плоскости земной орбиты ($\eta = 23^{\circ}27'$), $\varepsilon(n)$ – азимутальный угол земной оси, зависимость которого от времени года, т.е. от номера суток n , выражается формулой:

$$\varepsilon(n) \approx \frac{2\pi\tau_0}{\tau_1} (n - 172). \quad (11)$$

С учетом принятых выше допущений шум III_c от прямой солнечной подсветки можно представить в виде:

$$III_c = m \left(\frac{R_c}{R_{3.o}} \right) \cos \theta(n, t) \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \xi(\lambda, T) k(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda, \quad (12)$$

а шум при отражении солнечного излучения от подстилающей поверхности $III_{c.z}$ в виде:

$$III_{c.z} = \frac{m}{\pi} \left(\frac{R_c}{R_{3.o}} \right) \cos \theta(n, t) \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \xi(\lambda, T) k(\lambda) \tau(\lambda) d\lambda \cdot Noise(\lambda) d\lambda. \quad (13)$$

Тогда, подставив (3), (12), (13) в (2), окончательно получим:

$$\frac{C}{III} = \frac{m \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} r(\lambda) \cdot f(\lambda) \cdot \exp(-q(\lambda) \cdot l) d\lambda}{l^2 (III_c + III_{c.z} + III_{u.z})}. \quad (14)$$

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Наиболее распространенными фильтрами являются фильтр Гаусса, фильтр Лоренца, фильтры с нижней и верхней границей, прямоугольный фильтр, функции пропускания которых $f(\lambda)$ описываются следующими выражениями [4, 10]:

фильтр Гаусса:

$$f(\lambda) = \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\lambda - \lambda_0}{\sigma} \right)^2 \right], \quad (15)$$

фильтр Лоренца:

$$f(\lambda) = \frac{a}{1 + \left(\frac{\lambda - \lambda_0}{\Delta} \right)^2}, \quad (16)$$

прямоугольный фильтр и фильтры с верхней и нижней границей:

$$f(\lambda) = \begin{cases} 0, \lambda < \lambda_i \\ const, \lambda \geq \lambda_i \\ const, \lambda \leq \lambda_a \\ 0, \lambda > \lambda_a \end{cases}. \quad (17)$$

3. Результаты и анализ влияния внешней фильтрации на процесс передачи оптической информации в системах управления поведением насекомых

При расчетах информационных и энергетических характеристик БКС без применения метода внешней фильтрации были получены значения функции «отношение сигнал/шум», которые лежат в пределах от 0,003 до 1, что может оказаться недостаточным для эффективного управления поведением насекомых [8, 9].

Расчеты по рассматриваемой в данной статье модели показали, что использование оптических фильтров в сочетании с селективными источниками излучения значительно увеличивает количество информации, получаемой насекомыми, что способствует повышению эффективности процесса управления (рис. 3, 4).

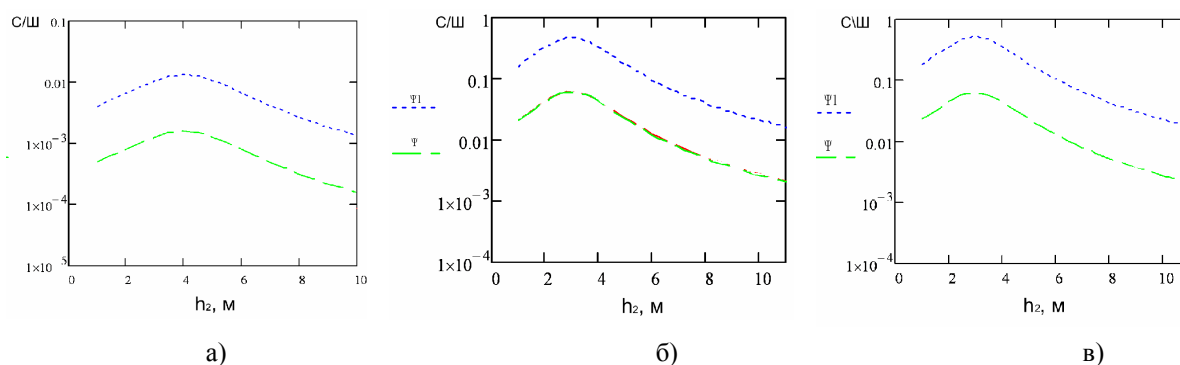


Рис. 3. Графики зависимости от высоты h_2 функции «отношение сигнал/шум» для насекомых с трихромным видом зрения; Ψ – без применения оптического фильтра, Ψ_1 – с применением фильтра Гаусса: а) вольфрамовая лампа $T=1500K$ ($\lambda_0 = 520nm$, $\sigma = 350nm$), б) галогенная лампа ($\lambda_0 = 450nm$, $\sigma = 200nm$), в) ксеноновая лампа ($\lambda_0 = 350nm$, $\sigma = 50nm$)

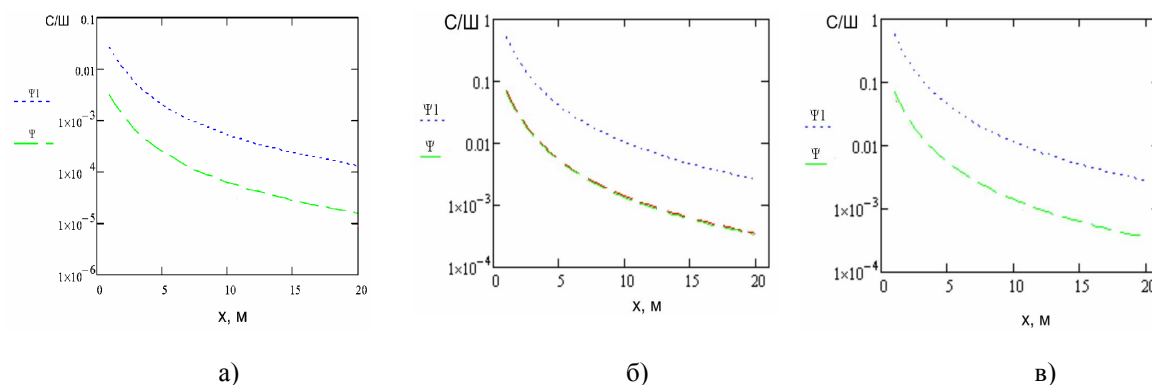


Рис. 4. Графики зависимости от расстояния x функции «отношение сигнал/шум» для насекомых с трихромным видом зрения; Ψ_1 – без применения оптического фильтра, Ψ_2 – с применением фильтра Гаусса: а) вольфрамовая лампа при $T=1500K$ ($\lambda_0 = 520nm$, $\sigma = 350nm$), б) галогенная лампа ($\lambda_0 = 450nm$, $\sigma = 200nm$), в) ксеноновая лампа ($\lambda_0 = 350nm$, $\sigma = 50nm$)

Из анализа графиков (рис. 3, 4) следует, что во всех случаях наблюдается увеличение значения функции «отношение сигнал/шум», причем в некоторых случаях почти на порядок, что свидетельствует об эффективности использования метода оптической фильтрации сигнала в системах управления поведением насекомых. В табл. 2 в качестве примера приведены информационные характеристики канала передачи оптической информации насекомым с трихромным видом зрения.

Таблица 2

Информационные характеристики канала передачи оптической информации насекомым с трихромным видом зрения

Галогенная лампа

Фильтр	С/Ш	Π_1	С/Ш _ф	Π_2	η
Гаусса ($\lambda_0 = 400nm$, $\sigma = 300nm$)	0,02	0,29	0,11	0,151	5,27
Лоренца ($\lambda_0 = 500nm$, $\Delta = 250nm$)	0,02	0,29	0,06	0,084	2,94

Ксеноновая лампа

Фильтр	С/Ш	Π_1	С/Ш _ф	Π_2	η
Гаусса ($\lambda_0 = 300nm$, $\sigma = 150nm$)	0,09	0,124	0,85	0,88	7
Лоренца ($\lambda_0 = 450nm$, $\Delta = 350nm$)	$4 \cdot 10^{-3}$	$5,7 \cdot 10^{-3}$	$25 \cdot 10^{-3}$	0,036	6,2

Вольфрамовая лампа при $T = 1500K$

Фильтр	С/Ш	Π_1	С/Ш _ф	Π_2	η
Гаусса ($\lambda_0 = 400nm$, $\sigma = 250nm$)	$3,85 \cdot 10^{-3}$	$5,54 \cdot 10^{-3}$	$9,76 \cdot 10^{-3}$	0,013	3
Лоренца ($\lambda_0 = 350nm$, $\Delta = 350nm$)	$3,85 \cdot 10^{-3}$	$5,54 \cdot 10^{-3}$	$10 \cdot 10^{-3}$	0,015	2,6

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Максимальное значение функции «отношение сигнал/шум» для насекомых с трихромным видом зрения достигается при использовании комплекса, состоящего из селективного источника света – галогенной лампы и оптического фильтра Лоренца с параметрами $\lambda_0 = 600\text{нм}$, $\Delta = 450\text{нм}$ (рис. 5).

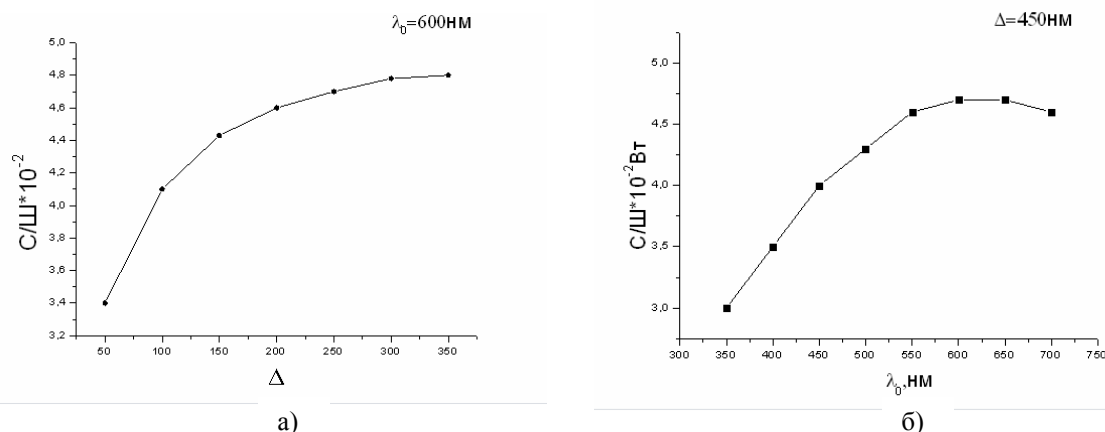


Рис. 5. Зависимость функции «отношение сигнал/шум» от параметров фильтра Лоренца: а) Δ ; б) λ_0

4. Выводы

- разработана математическая модель процесса передачи оптической информации насекомым с применением метода внешней фильтрации;
- исследованы зависимости энергетических и информационных характеристик БКС от её параметров для фильтров различной конфигурации;
- проведена структурная и параметрическая оптимизация канала передачи оптической информации в системах управления поведением насекомых с применением метода внешней фильтрации.

Список литературы

1. Бобнев М. П. Генерирование случайных чисел / М. П. Бобнев. – Москва : Энергия, 1997. – 230 с.
2. Ванн де Хюлст Г. Рассеяние света малыми частицами / Г. Ванн де Хюлст. – Москва : Изд-во иностранной литературы, 1962. – 537 с.
3. Газалов В. С. Установки электрофизической защиты садов от насекомых вредителей / В. С. Газалов // Рациональная электрификация сельского хозяйства. – М., 1984. – С. 6–9.
4. Зуев В. Е. Современные проблемы атмосферной оптики: монография / В. Е. Зуев, Г. М. Креков. – Санкт-Петербург : Гидрометеиздат, 1986. – Т. 2. – 256 с.
5. Лихтер А. М. Оптимальное проектирование оптико-электронных систем: монография / А. М. Лихтер. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2004. – 241 с.
6. Лихтер А. М. Моделирование систем управления процессами лова рыбы: монография / А. М. Лихтер. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. – 290 с.
7. Мазохин-Поршняков Г. А. Руководство по физиологии органов чувств насекомых / Г. А. Мазохин-Поршняков. – Москва: Изд-во Москов. ун-та, 1977. – 456 с.
8. Плешкова Ю. А. Модель процесса передачи оптической информации в системах управления поведением насекомых / Ю. А. Плешкова, А. М. Лихтер // Экологические системы и приборы. – 2010. – № 12. – С. 24–27.

9. Плешкова Ю. А. Моделирование зависимостей информационных и энергетических характеристик систем управления поведением насекомых от их геометрических параметров / Ю. А. Плешкова, А. М. Лихтер // *Экологические системы и приборы*. – 2011. – № 2. – С. 25–29.
10. Романовский Ю. М. Математическое моделирование в биофизике. Введение в теоретическую базу / Ю. М. Романовский, Н. В. Степанова, Д. С. Чернавский. – Москва, 2001. – 315 с.
11. Тимофеев Ю. М. Теоретические основы атмосферной оптики / Ю. М. Тимофеев, А. В. Васильев. – Санкт-Петербург : Наука, 2003. – 474 с.
12. Якушников Ю. Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов: учеб. для вузов / Ю. Г. Якушников. – 4-е изд., перераб. и доп. – Москва : Логос, 1999. – 408 с.

References

1. Bobnev M. P. Generirovanie sluchajnyh chisel [Generation of random numbers]. Moscow: Jenergiya, 1997. 230 p.
2. Vann de Hjulst G. Rassejanie sveta malymi chasticami [Light dispersion by small particles]. Moscow: Izd-vo inostrannoj literatury, 1962. 537 p.
3. Gazalov V. S. Ustanovki jelektrofizicheskoy zavitj sadov ot nasekomyh vreditelej [Installations of electrophysical protection of gardens from injurious insects]. *Racional'naja jelektifikacija sel'skogo hozjajstva* [Rational electrification of agriculture]. Moscow, 1984, pp. 6–9.
4. Zuev V. E., Krekov G. M. Sovremennye problemy atmosfernoj optiki: monografija [Modern problems of atmospheric optics: monograph]. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 1986, vol. 2. 256 p.
5. Lihter A. M. Optimal'noe proektirovanie optiko-jelektronnyh sistem: monografija [Optimum design of optoelectronic systems: monograph]. Astrakhan: Izdatel'skij dom «Astrahanskij universitet», 2004. 241 p.
6. Lihter A. M. Modelirovanie sistem upravlenija processami lova ryby [Modeling of fishing process control systems]: monografija. Astrakhan: Izdatel'skij dom «Astrahanskij universitet», 2007. 290 p.
7. Mazohin-Porshnjakov G. A. Rukovodstvo po fiziologii organov chuvstv nasekomyh [Guide to physiology of sense organs of insects]. Moscow: Izd-vo Moskov. un-ta, 1977. 456 p.
8. Pleshkova Ju. A., Lihter A. M. Model' processa peredachi opticheskoy informacii v sistemah upravlenija povedeniem nasekomyh [Model of optical information transmission in insect behavior control systems]. *Jekologicheskie sistemy i pribory* [Ecological Systems and Devices], 2010, no. 12, pp. 24–27.
9. Pleshkova Ju. A., Lihter A. M. Modelirovanie zavisimostej informacionnyh i jenergeticheskikh harakteristik sistem upravlenija povedeniem nasekomyh ot ih geometricheskikh parametrov [Modeling of dependences of information and power characteristics of insect behavior control systems on their geometrical parameters]. *Jekologicheskie sistemy i pribory* [Ecological Systems and Devices], 2011, no. 2, pp. 25–29.
10. Romanovskij Ju. M., Stepanova N. V., Chernavsky D. S. Matematicheskoe modelirovanie v biofizike. Vvedenie v teoreticheskiju bazu [Mathematical modeling in biophysics. Introduction in theoretical base]. Moscow, 2001. 315 p.
11. Timofeev Ju. M., Vasil'ev A. V. Teoreticheskie osnovy atmosfernoj optiki [Theoretical bases of atmospheric optics]. Saint-Petersburg: Nauka, 2003. 474 p.
12. Jakushnikov Ju. G. Teorija i raschet optiko-jelektronnyh priborov [Theory and calculation of optoelectronic devices]: ucheb. dlja vuzov, 4-e izd., pererab. i dop., Moscow: Logos, 1999. 408 p.

**КОНЦЕПЦИЯ СУПЕРВИЗОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ОТОПЛЕНИЕМ
В КОММЕРЧЕСКИХ ЗДАНИЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ПРОГНОЗИРУЮЩИХ МОДЕЛЕЙ***

Тюков Антон Павлович, аспирант

Камаев Валерий Анатольевич, доктор технических наук

Щербаков Максим Владимирович, кандидат технических наук

Волгоградский государственный технический университет

400131, Россия, г. Волгоград, пр. Ленина, 28

E-mail: anton.tyukov@gmail.com, kamaev@cad.vstu.ru, maxim.shcherbakov@gmail.com

В статье предложена новая концепция супервизорного управления системами климат-контроля (HVAC-системами) в крупных коммерческих зданиях на основе прогнозирующих моделей. Предложенная концепция управления сокращает потребление газа, используемого для отопления помещения, при сохранении допустимого диапазона требуемой температуры. Авторы прогнозируют изменение температуры внутри помещения и энергопотребление HVAC-системы при помощи моделей линейной регрессии, включающих упреждающие значения параметров погоды. Исследования были проведены на основе данных, основанных на реальных 15-минутных измерениях температуры внутри и снаружи помещения, потребления газа в системе отопления, данных с ближайшей метеорологической станции, целевой температуры, определяемой календарем работы здания. Стратегия управления формируется методом управления с прогнозирующими моделями. Разработанная стратегия управления применяется к системе климат-контроля через программно-аппаратный комплекс, состоящий из клиента, подключаемого к системе, и сервера, прогнозирующего изменения температуры внутри помещения, потребления газа и формирующего стратегию управления. Испытания, в рамках которых реализовывалась предложенная концепция, были произведены в коммерческом здании в г. Ейндховен (Голландия). Показана эффективность предложенной концепции по сравнению с алгоритмом управления, встроенного в HVAC-систему.

Ключевые слова: супервизорное управление, система климат-контроля, HVAC, управление с прогнозирующими моделями, линейная регрессия, прогнозирование потребления газа, прогнозирование температуры внутри помещения, прогноз погоды, интеллектуальный анализ данных, энергоэффективность.

**CONCEPT OF SUPERVISOR HEATING CONTROL
IN COMMERCIAL BUILDINGS USING PREDICTIVE MODELS**

Tyukov Anton P., post-graduate student

Kamaev Valery A., D.Sc. (Engineering)

Shcherbakov Maxim V., Ph.D. (Engineering)

Volgograd State Technical University

28 Lenin av., Volgograd, 400131, Russia

E-mail: anton.tyukov@gmail.com, kamaev@cad.vstu.ru, maxim.shcherbakov@gmail.com

* РФФИ (грант № 10-07-97008-р_поволжье_a).