

УДК.621.313

**В.В. ЗИНОВКИН** (д-р техн. наук, проф.), **В.О. МИРНЫЙ**  
**Запорожский национальный технический университет**  
[zvzv@zntu.edu.ua](mailto:zvzv@zntu.edu.ua)

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВИЙ СХОДИМОСТИ ОПТИМИЗАЦИОННОГО ФУНКЦИОНАЛА МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

*Предложены модели условий сходимости оптимизационного функционала многопараметрического технологического процесса. Показано, что сигналы различной физической природы удобно представить в виде соответствующих совокупностей параметров. При этом более устойчивая работа обеспечивается в случае представления их в виде сомножителей, а не в виде слагаемых. Работоспособность данной системы опробована на реальном промышленном технологическом объекте приготовления газобетона.*

**Ключевые слова:** условия сходимости, оптимизационный функционал, многопараметрическая автоматизированная система управления технологическим процессом, газобетон.

**Введение.** В мировой и отечественной практике в промышленности широко внедряются технологические линии приготовления различных многокомпонентных изделий (огнеупоров, ячеистых бетонов, высококачественных сталей). Такая тенденция объясняется тем, что к таким изделиям предъявляются более высокие требования к качеству и технико-экономическим показателям. Эти требования могут быть достигнуты путем оптимизации автоматизированного управления технологическими процессами. Вопросам технологических объектов посвящено довольно большое количество публикаций, а системы многопараметрического автоматизированного управления технологическими процессами требуют дальнейшего развития [1-4]. При этом необходимым условием является согласование оптимальных режимов гидро-, пневмо-, электроприводов и систем автоматизированного анализа и управления [4-7]. В совокупности они определяют директивные режимы протекания технологического процесса, качество выпускаемой продукции и технико-экономические показатели [4-10]. Предложенные критерии оптимизации автоматизированного управления технологическим процессом приготовления газобетона позволили существенно снизить непроизводительные потери и время работы исполнительных механизмов [8-13]. На стадиях отработки и внедрения этой методики оказалось, что на отдельных стадиях технологического процесса имели место существенные отклонения текущих режимов от директивного. Это вызвано изменениями режимов исполнительных механизмов за счет неоднозначности условия сходимости и оптимизирующих параметров многопараметрической системы автоматизированного управления [12, 13]. Таким образом, сформирована научно-практическая задача, требующая дальнейшего исследования и развития.

**Целью настоящей работы** является моделирование и анализ условий сходимости оптимизационного функционала многопараметрической системы автоматизированного управления технологическим процессом.

**Материалы исследований.** В линии приготовления газобетонных смесей реальный технологический процесс существенно отличается от директивного. Имеющие место расхождения поясняются нарушением условий сходимости оптимизационного функционала, инерционными свойствами исполнительных механизмов, износом и изменениями механических параметров, колебаниями давления в воздушной магистрали и напряжения в питающей сети, а также неравномерностью потока компонентов газобетонной смеси. Оптимальное управление осуществляется путем формирования трёх обобщенных параметров по характерным физическим признакам, изменяющихся во времени по соответствующим периодическим законам. Они должны удовлетворять следующему уравнению [3-6]:

$$\xi(x, t) = \int_{t_1}^{t_2} \zeta(x, t) \cdot q(x, t) \cdot \rho(x, t) dt, \quad (1)$$

где  $\zeta(x, t) = \sum_{i=1}^N \alpha_i(t)$  - совокупность сигналов управления;

$q(x, t) = \sum_{j=1}^M \gamma_j(t)$  - параметры, контролирующие ход технологического процесса;

$\rho(x, t) = \sum_{k=1}^K \chi_k(t)$  - сигналы исполнительных механизмов.

С целью анализа условий сходимости, воспользуемся нормировкой, и оптимизационный функционал представим в следующем виде:

$$\xi_{\Sigma}(t, \nu) = (c1 \cdot 0,5) + \sum_{\nu=1}^N [c2 \cdot \cos(\nu\pi t/a) + c3_{\nu} \cdot \sin(\nu\pi t/a)], \quad (2)$$

где  $c1, c2, c3$  – соответствующие согласующие коэффициенты, которые обеспечивают условия нормировки и взаимосвязи с вышеприведенными обобщенными параметрами;  $a$  – возможные периоды информационных каналов.

Выполняя соответствующие преобразования, приходим к форме уравнений, которые удобно использовать при компьютерном моделировании.

Компьютерное моделирование условий сходимости оптимизационного функционала осуществлялись в среде Matlab/Simulink. на двух моделях.

В первой модели оптимизационный функционал представлялся в виде суммы обобщенных параметров согласно выражению (2), а во второй – виде сомножителей (1). Результаты исследований приведены на рис.1-2. Физико-тригонометрическая интерпретация полученных результатов, соответствующая модельной задаче (2) приведена на рис.1. С целью большего понимания физической сущности исследуемого процесса, два обобщенных информационных сигнала принимались периодическими при наиболее неблагоприятном их сочетании, а третий оставался неизменным в течении времени. Совокупность сигналов первого информационного канала изменяется во времени по синусоидальному закону  $\zeta(t, \nu) = 4\pi^{-1} \cdot \sin(\pi t/a)$ , а второго – по несинусоидальному  $q(t, \nu) = 4\pi^{-1} \cdot \sin(\pi t/a) + 3^{-1} \cdot \sin(3\pi t/a)$ . Результирующий оптимизированный сигнал  $\xi_{\Sigma}(t, \nu) = \zeta(t, \nu) + q(t, \nu) \Big|_{\rho(t, \nu) = const}$  соответствовал следующему выражению:  $\xi_{\Sigma}(t, \nu) = 4\pi^{-1} \cdot 3^{-1} \cdot \sin(3\pi t/a)$ .

В качестве примера на рис. 1 показаны результаты компьютерного моделирования модели для случая, когда обобщенные параметры изменялись во времени по периодическому закону (условные обозначения  $\zeta(t, \nu)$  и  $q(t, \nu)$ ). При этом информация по третьему каналу принималась неизменной  $\rho(t, \nu) = const$  и изменялась в пределах нормировки. Моделирование выполнялось для наиболее неблагоприятного сочетания информационных сигналов. Результирующий сигнал  $\xi_{\Sigma}(t, \nu)$  изменялся по несинусоидальному закону и по абсолютной величине превышал условия нормировки на 30-45%. Очевидно, что при увеличении количества информационных сигналов, погрешность управления будет не допустимой. Особенно характерно это проявляется для случаев, когда информационные сигналы во времени изменяются по вероятностному несинусоидальному закону, что следует из результатов теоретических исследований.

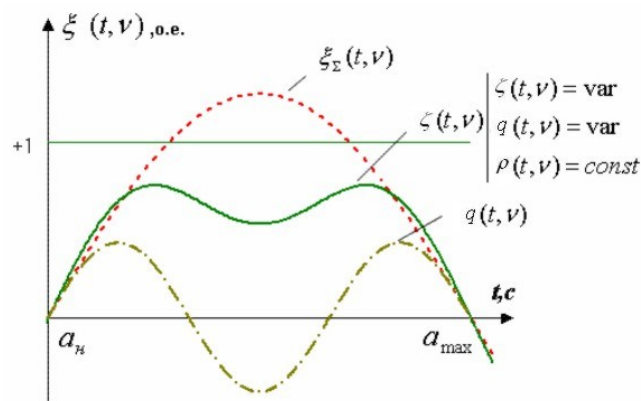


Рисунок 1 – Физико-аналитическая интерпретация условий сходимости оптимизационного функционала в виде суммы обобщенных информационных сигналов автоматизированного управления многопараметрическим технологическим процессом

Во второй модели оптимизационный функционал представлялся в виде сомножителей обобщенных параметров согласно выражению (1). Результаты исследований приведены на рис. 2. Проведено четыре серии опытов при различных сочетаниях трех обобщенных параметров изменяющихся во времени по различным периодическим законам. Из приведенных графических зависимостей видно, что (см. рис. 2), оптимизационный функционал не превышает 0.08 – 0.5 уровня нормировки. Физически это обозначает, что погрешность между директивной и реальной траекторией управления многопараметрическим технологическим процессом существенно уменьшается по сравнению с первой моделью. В табл.1 приведены наибольшие значения

соответствующих каналов в пределах нормировки. Откуда видно, что даже для случая, когда  $\rho=1,0$  и  $\zeta=0,98$  обобщенный функционал  $\xi=0,45$ . Очевидно, что оптимизационный функционал более рационально представлять в виде обобщенных сомножителей. Для других технологических процессов необходимо анализировать его особенности, характерные признаки, а также режимы и условия эксплуатации исполнительных механизмов и управляющих систем.

Таблица 1 - Предельные значения оптимизационного функционала ( $\xi$ ) и соответствующих совокупностей информационных сигналов ( $\zeta$ ), ( $q$ ), ( $\rho$ ).

	1	2	3	4
$\zeta$	0.98	0.98	0.48	0.98
$q$	0.76	0.76	0.48	0.98
$\rho$	0.32	1	0.65	0.77
$\xi$	0.11	0.45	0.09	0.41

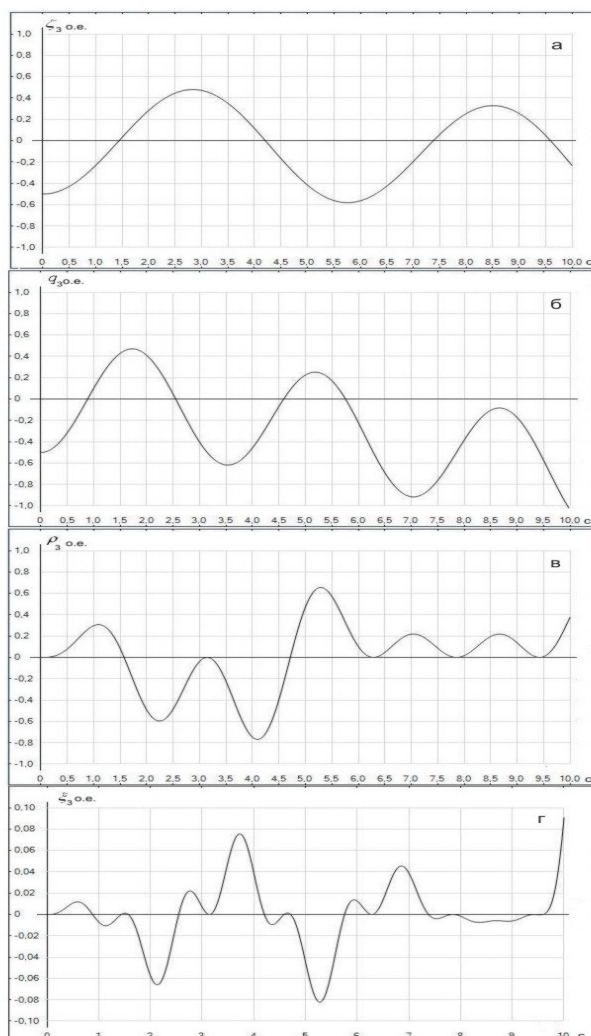


Рисунок 2 – Физико-аналитическая интерпретация условий сходимости оптимизационного функционала в виде сомножителей обобщенных информационных сигналов автоматизированного управления многопараметрическим технологическим процессом

Экспериментальные исследования основных теоретических положений приведенной методики проверялись на действующей технологической линии. Результаты этих исследований приведены в настоящем докладе с основными теоретическими положениями.

**Выводы.** При разработке системы автоматизированного управления многопараметрическим технологическим процессом оптимизационный функционал более эффективно формировать по совокупностям соответствующих информационных сигналов в виде сомножителей, а также одинаковой физической природы и принадлежности.

Целесообразно продолжить дальнейшие исследования многопараметрического оптимизационного функционала при линейных, нелинейных и комбинированных взаимосвязях между параметрами технологической линии.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- 1 Зиновкин В.В. Многопараметрическая система автоматизированного управления технологическим процессом приготовления газобетона / В.В. Зиновкин, Э.М. Кулинич // Східно-Європейський журнал передових технологій. - 2009.- №3/3(39).- С. 38-43.
- 2 Зиновкин В. В. Моделирование автоматизированного управления двухкомпонентным дозированием многопараметрического процесса приготовления газобетона / В. В. Зиновкин , Э. М. Кулинич // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць.- Випуск 6 (65) - Дніпропетровськ, 2009. - С. 53-64.
- 3 Зіновкін В.В. Автоматизована система керування багатопараметричного технологічного процесу приготування газобетону / В.В.Зіновкін, Е.М.Кулинич, Ю.Н.Умеров, В.О.Мирний // Матеріали міжнар. конференції “Енергетика та системи керування – 2009” (Львів, 14-16 травня). – 2009. - С. 40-42.
- 4 Зиновкин В. В. Многокритериальная автоматизированная система управления технологическим процессом приготовления газобетона / В. В. Зиновкин , Э. М. Кулинич // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI-2009) : міжнар. конф., 19-22 травня 2009 р. : тези докл. – Євпаторія, 2009. – Т. 2. – С. 608 – 611.
- 5 Зиновкин, В. В. Моделирование процесса утилизации отходов в технологии производства газобетона / В. В. Зиновкин , Э.М. Кулинич // Стратегія якості у промисловості і освіті : міжнар. конф., 6-13 червня 2009р.: тези докл. – Варна, Болгарія, 2009. – Т. 2. – С. 176 – 179.
- 6 Зиновкин В. В. Моделирование автоматизированного электропривода дозатора технологической линии приготовления газобетона / В. В. Зиновкин , Э. М. Кулинич // Електротехніка та електроенергетика. - 2009. - №2. - С. 49-53.
- 7 Зіновкін, В. В. Моделювання режимів дозування системи автоматизованого керування багатопараметричним технологічним процесом / В. В. Зіновкін , Е. М. Кулинич // Вісник КДПУ. – Кременчук: КДПУ, 2010. – Вип. 3/2010 (62). Ч.1, С. 146 –148
- 8 Зиновкин В.В. Критерии оптимального управления многопараметрическим технологическим процессом приготовления газобетона / В.В. Зиновкин, Э.М. Кулинич // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – № 1(22). – 2010. – С. 158–163.
- 9 Зиновкин В. В. Математическое моделирование устойчивости системы автоматизированного управления многопараметрическим технологическим процессом/ В. В. Зиновкин , Э. М. Кулинич // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI-2010) : міжнар. конф., 17-21 травня 2010 р. : тези докл. -Євпаторія, 2010. - Т. 2. - С. 64-68.
- 10 Зіновкін В. В. Моделювання системи автоматизованого керування багатопараметричним технологічним процесом / В. В. Зіновкін, Е. М. Кулинич, Ю. Н. Умеров, В. О. Мирний // Енергетика та системи керування – 2010 : міжнар. конф., 25-27 листопада 2010 р.: тези докл. - Львів, 2010. - С. 24-25.
- 11 Кулинич Э. М. Моделирование оптимального управления многопараметрическим технологическим процессом приготовления газобетона / Э. М. Кулинич, В. О. Мирный, Ю. Н. Умеров, // «Компьютерные технологии и информационные системы в электротехнике»: Всероссийский конкурс научных работ студентов, магистрантов и аспирантов (Тольятти, 29 ноября 2011 года): сборник материалов - Тольятти: Изд-во ТГУ, 2011. - С. 37-46.
- 12 Зиновкин В. В. Анализ условий сходимости многопараметрического функционала управления технологическим процессом приготовления газобетона / В. В. Зиновкин , Э. М. Кулинич, В.В. Куш , Е.В. Васильева, В.О. Мирный // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI-2012) : міжнар. конф., 27-31 травня 2012 р. : тези докл. - Євпаторія, 2012. - С. 75-77.
- 13 Мирный В.О. Моделирование оптимальных режимов многопараметрическими технологическими объектами/ В.О. Мирный, Э.М. Кулинич , В.В. Зиновкин // Современные информационные технологии, средства автоматизации и электропривод: Материалы Всеукраинской научно-технической конференции, посвященной 60-летию ДГМА (Краматорск 17-21 декабря 2012 года): сборник материалов - Краматорск: Изд-во ДГМА, 2012. - С. 50-51.

#### REFERENCES

1. Zinovkin V.V., Kulinich E.M. Multiparameter automated control system for process of making aerated concrete. *Shidno-Evropeysky jurnal peredovich tehnologiy*. 2009; № 3/3 (39): 38-43.
2. Zinovkin V.V., Kulinich E.M. Simulation automated control for two-component dosing in multiparameter making aerated concrete. *Sistemni tehnologii*. Regionalny mizhvuzivsky zbirnik Naukov Pratsen. 2009; № 6 (65): 53-64.
3. Zinovkin V.V., Kulinich E.M., Umerov Y.N., Mirniy V.O. Automated control system for multiparameter process of making aerated concrete. *Energy and system control (Energetika ta systemi keruvanya)*. Lviv, NU “Lvivska Politehnika”, 2009, p. 40-42.

4. Zinovkin V.V., Kulinich E.M. Multicriteria automated process control system of making aerated concrete. Making decision intellect system and computers problem. (Intelektualni Sistemi priynyatyа rishen i Problemi obchislyvalnoi tehniki. (ISDMCI-2009)). Evpatoriya, NAU, 2009, p. 608 - 611.

5. Zinovkin V.V., Kulinich E.M. Zinovkin V.V., Kulinich E.M. Simulation of waste utilization in technology of making aerated concrete. Quality strategy in industry and education (Strategiya yakosti u promislovosti i osviti). Varna, Bolgariya, TU, 2009, p. 176 - 179.

6. Zinovkin V.V., Kulinich E.M. Simulation of automated electric drive dispenser for technological line of making aerated concrete. Elektrotehnika ta elektroenergetika. 2009; № 2: 49-53.

7. Zinovkin V.V., Kulinich E.M. Dosing mode simulation of automated control system for multiparameter technological process. Visnik KDPU. 2010; 3/2010 (62). Part 1: 146 -148.

8. Zinovkin V.V., Kulinich E.M. Criteria for optimal control of multiparameter process of making aerated concrete. Radioelektronika, informatika, upravlinnya. 2010; № 1 (22): 158-163.

9. Zinovkin V.V., Kulinich E.M. Mathematical simulation of the automated control of multiparameter process. Making decision intellect system and computers problem. (Intelektualni Sistemi priynyatyа rishen i Problemi obchislyvalnoi tehniki. (ISDMCI-2010)). Evpatoriya, NAU, 2010, p. 64-68.

10. Zinovkin V.V., Kulinich E.M., Umerov Y.N., Mirniy V.O. Simulation of automated control system for multiparameter technological process. Energy and system control (Energetika ta sistemi keruvanya). Lviv, NU "Lvivska Politehnika", 2010, p. 24-25.

11. Kulinich E.M., Mirniy V.O., Umerov Y.N. Simulation of optimal control for multiparameter process of making aerated concrete. Computer technology and information systems in electrical engineering (Komputerni tehnologii i informacionie sistemi v elektrotehnike ). Togliatti, Russia, TNU, 2011, p. 37-46.

12. Zinovkin V.V., Kulinich E.M., Kusch V.V., Vasilyeva E.V., Mirniy V.O. Analysis of convergence conditions for multiparameter functional control of the process of making aerated concrete. Making decision intellect system and computers problem. (Intelektualni Sistemi priynyatyа rishen i Problemi obchislyvalnoi tehniki. (ISDMCI-2012)). Evpatoriya, NAU, 2012, p. 75-77.

13. Mirniy V.O., Kulinich E.M., Zinovkin V.V. Simulation of optimal modes control for multicriteria technological objects. Advanced information technology, automation and drives (Sovremenie informacionie tehnologii, sredstva avtomatizacii i electroprivod). Kramatorsk, DNMA, 2012, p. 50-51.

Надійшла до редакції 19.03.2013

Рецензент: О.П. Ковальов

В.В. ЗІНОВКІН, В.О. МИРНИЙ  
Запорізький національний технічний університет

**Модельовання умов збіжності оптимізаційного функціонала багатопараметричного технологічного процесу.** Запропоновані моделі умов збіжності оптимізаційного функціонала багатопараметричного технологічного процесу. Показано, що сигнали різної фізичної природи зручно представити у вигляді відповідних сукупностей параметрів. При цьому більш стійкіша робота забезпечується у випадку подання їх у вигляді співмножників, а не в вигляді доданків. Працездатність даної системи випробувана на реальному технологічному процесі приготування газобетону.

**Ключові слова:** умови збіжності, оптимізаційний функціонал, багатопараметрична автоматизована система керування технологічним процесом, газобетон.

V. ZINOVKIN, V. MIRNYI  
Zaporizhzhya National Technical University

**Simulation Conditions for Convergence of the Optimization of the Functional Multi-Parameter Process.** The models and simulation results convergence conditions of the optimization of the functional multi-parameter process are proposed. Their effectiveness and efficiency have been tested on a real production line making concrete, which is characterized by a large number of different physical parameters. As actuators used pneumatic, hydraulic and electric drive and control systems are based on programmable logic controllers and software packages from Siemens. The proposed terms of convergence of multi-parameter optimization functional increased the efficiency of the production line making aerated concrete. It is shown that the signals of different physical nature are conveniently represented in the form of appropriate sets of parameters. Computer modeling of the convergence conditions of the optimization was carried out in a functional environment, Matlab / Simulink, on two models. In the first model optimization functionality is represented as a sum of generalized parameters, and the second - as factors. With more stable performance multi-parameter control system is provided in the case of corresponding populations as factors. It is shown that the development of multi-parameter optimization functional must be specific modes and features of the actuators of the process line. The results of these studies and the basic theoretical concepts are presented in this report.

**Keywords:** terms of convergence, optimization functional, the multiparameter automated control system by technological process, aircrete.