

**КОНЦЕПЦИЯ СУБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЙ ОПТИМИЗАЦИИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРОИЗВОДСТВА АССОРТИМЕНТА  
СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**Харитонов Валерий Алексеевич**

Доктор технических наук, профессор, и.о. заведующего кафедрой строительного  
инжиниринга и материаловедения, e-mail: cems@pstu.ru

**Кривоги́на Дарья Николаевна**

Аспирантка, e-mail: darya.krivogina@gmail.com

Пермский национальный исследовательский политехнический университет,  
618000, г. Пермь, ул. Куйбышева 109

**Аннотация.** В статье обсуждается разработка концепции создания алгоритмического обеспечения оптимального управления параметрами технологического процесса производства ассортимента строительных материалов из бетона, обеспечивающего обоснованный выбор материала для изготовления высокоэффективных в установленных условиях применения и эксплуатации строительных конструкций.

**Ключевые слова:** математическое планирование эксперимента, ценообразование, принятие согласованных решений, управление технологическими процессами производства строительных материалов.

**Цитирование:** Харитонов В.А., Кривоги́на Д.Н. Концепция субъектно-ориентированной оптимизации технологических процессов производства ассортимента строительных материалов // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2018. №2 (10). С. 98–105. DOI:10.25729/2413-0133-2018-2-10

**Введение.** На современном этапе развития технологических процессов производства строительных материалов проблема ассортимента, то есть выпуска нескольких видов одного и того же конечного продукта с существенно отличающимися параметрами, становится важным аспектом, оказывающим влияние на конкурентное преимущество. Это зависит от спроса на ассортиментную продукцию и существования возможности её реализации. Спрос на ассортиментную продукцию может быть обусловлен различными требованиями, предъявляемыми к строительным конструкциям, изготавливаемым из этих материалов, в соответствии с их функциональным назначением в объекте недвижимости и внешними условиями эксплуатации (воздействием окружающей среды).

Развивающаяся сейчас новая парадигма организации и управления производством в строительстве на основе 3D-печати зданий, сооружений или отдельных строительных конструкций, приобретающих особое конкурентное преимущество в мелкосерийном производстве строительных материалов, требует расширенного и динамически меняющегося ассортимента материалов. Это позволит создавать строительные объекты в широком интервале внешних условий с оптимальным соотношением «качество продукта / затраты на изготовление». Данное соотношение качества и затрат должно решаться как компромисс предпочтений заинтересованных лиц. Для реализации востребованного ассортимента

строительных материалов необходимо усовершенствовать существующие подходы к решению задачи целенаправленного управления параметрами технологических процессов производства. В рамках обсуждаемой проблемы следует считать актуальной разработку концепции субъектно-ориентированной оптимизации технологических процессов производства ассортимента строительных материалов.

**Разработка концепции субъектно-ориентированной оптимизации технологических процессов производства ассортимента строительных материалов.**

Сегодня современный рынок строительных материалов и изделий из бетона нуждается в обширном ассортименте. Необходимость роста данного ассортимента обусловлена постоянно меняющимися требованиями потребителей к эксплуатационным параметрам готовой продукции. При выборе конкретной строительной конструкции потребитель руководствуется информацией об ее качественных параметрах, определяющих степень пригодности данного изделия к его использованию в конкретных эксплуатационных условиях. Качественные параметры готовой продукции зависят от качественных характеристик  $x_s$  исходного материала и определяются составом смеси. Рассмотрим процесс выбора строительной конструкции для конкретных условий ее эксплуатации.

*Положение 1.* Процесс выбора строительного продукта, удовлетворяющего конкретным условиям эксплуатации, целесообразно осуществлять на основе субъектно-ориентированной оптимизации технологических процессов производства ассортимента строительных материалов, в соответствии с основными этапами концепции, представленными на рисунке 1.

Пусть  $A$  – множество типов строительных материалов ( $A_1, \dots, |A|$ ) изготавливаемых на основе единого технологического процесса с изменяемыми параметрами производства с учетом заданных условий применения и эксплуатации.

*Положение 2.* К выбору качественных характеристик материала предлагается подойти с позиции применения методов, основанных на подходе математического планирования эксперимента (МПЭ), в основе которого лежит представление объекта исследования в виде кибернетической модели черного ящика [10]; под ним понимается объект, внутренняя структура которого неизвестна, но его сущность можно проследить по реакции на внешнее воздействие [4].

$u_1, u_2, u_3$  - факторы, способы воздействия на поведение черного ящика;

$x_s$  - отклик (функция отклика, выходная характеристика готового продукта), реакция на внешнее воздействие.

Математическая модель черного ящика представляется функцией, связывающей значения факторов и отклик черного ящика (функция отклика).

В случае одного отклика (1):

$$x_s = f(u_1, \dots, u_k), \quad (1)$$

где  $k$  - общее число влияющих факторов.

Функция  $x_s$  в общем случае неизвестна и часто аппроксимируется полиномиальной системой функций – для объекта с тремя факторами и учетом взаимодействия третьего порядка (2):

$$x_s = b_0 + b_1 u_1 + b_2 u_2 + b_3 u_3 + b_{12} u_1 u_2 + b_{13} u_1 u_3 + b_{23} u_2 u_3 + b_{123} u_1 u_2 u_3 \quad (2)$$

где  $x_s$  - функция отклика конкретной качественной характеристики,  $u_1, u_2, u_3$  ( $u, r, v$ ) - факторы, независимые переменные (в данном случае сырьевые компоненты смеси в пропорциях),  $b_0$  - свободный член,  $b_{i_1...i_j}$  - коэффициенты уравнения регрессии, удвоенные значения которых позволяют определить степень воздействия факторов на зависимую переменную [4, 9].

В работах [1, 4, 6, 11] даны методологические указания по выбору определяющих факторов и вида функции отклика для различных типов экспериментов, преследуемых целей и исследуемых объектов. На основе данных рекомендаций обоснуем выбор конкретных факторов ( $u, r, v$ ) для данного эксперимента и определим оптимальные интервалы их варьирования  $u_s \in [u^{\min}, u^{\max}]$ ,  $v_s \in [v^{\min}, v^{\max}]$ ,  $r_s \in [r^{\min}, r^{\max}]$ .

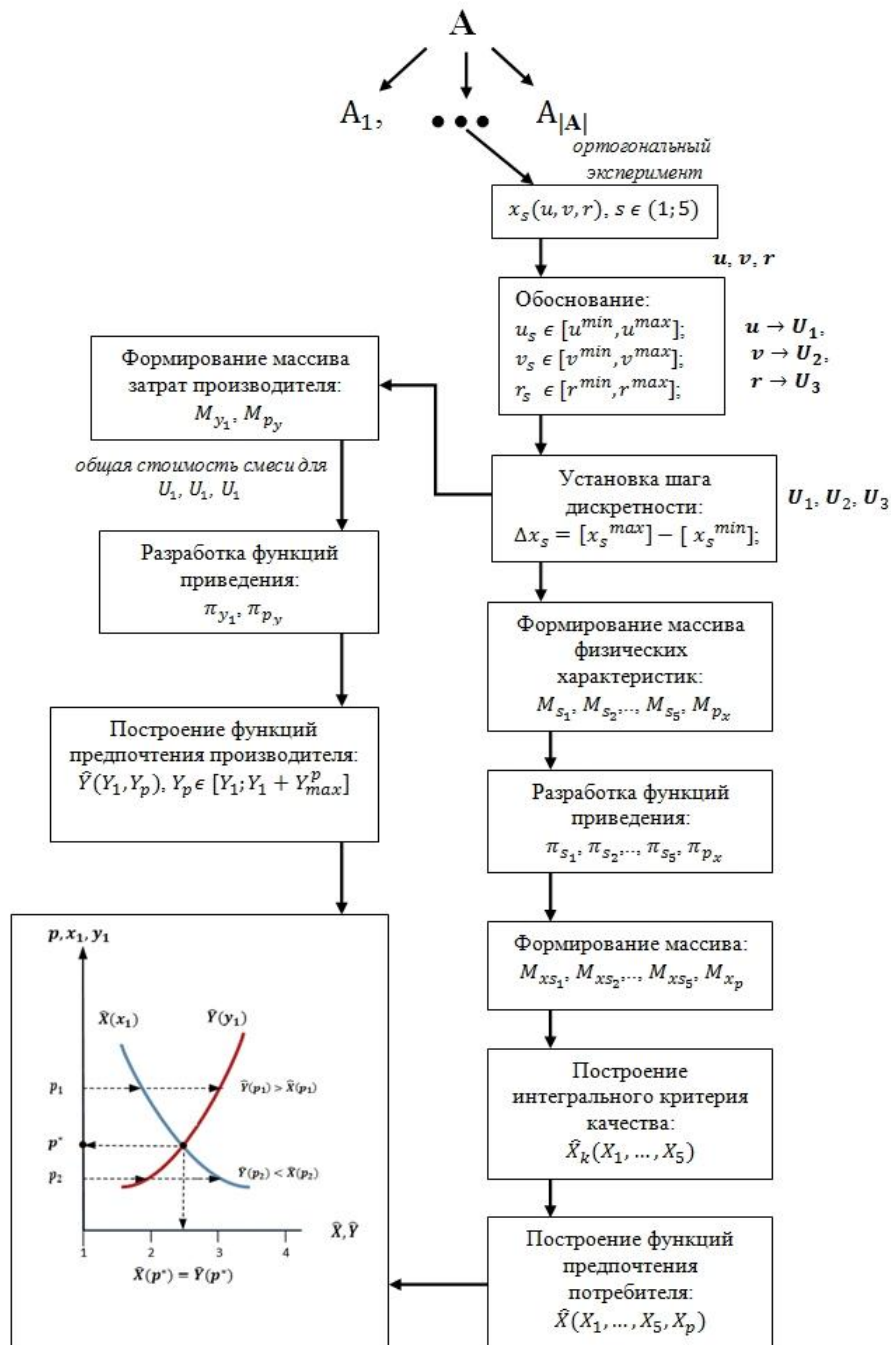


Рис. 1. Субъектно-ориентированная оптимизация технологических процессов производства ассортимента строительных материалов

В целом, решение задачи сводится к определению функции отклика, характеризующей поведение исследуемого объекта, а именно к отысканию значений коэффициентов  $b_1, \dots, b_{ij}$ , которые численно характеризуют влияние факторов на отклик исследуемого объекта [9].

После проведения ортогонального эксперимента и получения математических моделей зависимости функций отклика  $x_s$  от исходных параметров смеси ( $u, r, v$ ) необходимо рассмотреть технологический процесс производства и выбора строительных материалов отдельно с позиций предпочтений потребителя  $\hat{X}$  и производителя  $\hat{Y}$ .

*Положение 3.* Для описания множества альтернатив строительного материала, полученных при проведении единого ортогонального эксперимента, необходимо построить базовые универсальные для всех потребителей матрицы – массивы  $M_{x_1}, M_{x_2}, \dots, M_{x_5}$  физических характеристик продукции, определив и установив шаг дискретности  $\Delta x_s = [x_s^{\max}] - [x_s^{\min}]$  для каждой отдельной характеристики  $x_s, s \in [1, 5]$  в массиве  $M_{x_s}$ , имеющих свои номера адресов ячеек  $[U_1, U_2, U_3]$  с конкретными значениями параметров состава смеси, а также построить пустой массив цены  $M_{xp}$  на множество альтернатив строительного материала данного эксперимента.

После чего, на основании данных универсальных матриц-массивов, аналогичным образом выстраиваем массив затрат производителя  $M_{y1}$ , включающий общую стоимость смеси для каждого адреса ячеек  $[U_1, U_2, U_3]$  характеристик  $x_s, s \in [1, 5]$  с шагом дискретности  $\Delta x_s$  и пустой массив цены  $M_{yp}$ .

*Положение 4.* В рамках субъектно-ориентированной оптимизации технологических процессов производства ассортимента строительных материалов предлагается использовать подход к моделированию предпочтений потребителя и производителя в соответствии с мерностью фазового пространства  $\Phi$ , разработанный в рамках субъектно-ориентированного управления в социальных и экономических системах [7].

Моделирование предпочтений участников [3, 5] технологического процесса производства предполагается осуществлять на основе учета множества существенных субъективных факторов (детерминантов), представляемых в объединенном фазовом пространстве  $\Phi = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\} \cup \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_m\}$  потребителя  $\Phi_x = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$  и производителя  $\Phi_y = \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_m\}$ , оказывающих различное влияние на спрос  $\hat{x} = f_x \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$  и предложение  $\hat{y} = f_y \{y_1, y_2, y_3, \dots, y_m\}$ , интерпретируемые как качество приобретаемого изделия (конструкции) или производимого продукта соответственно. Каждый из детерминантов по своему влияет на выбор участниками параметров готовой продукции, поэтому необходимо построить функции спроса и предложения для каждого из участников. Однако, детерминанты спроса и предложения в фазовом пространстве имеют разную размерность, для этого необходимо при моделировании предпочтений участников технологического процесса представление существенных характеристик продукции (детерминантов) из фазового пространства  $\Phi$  преобразовать в безразмерное представление в квалиметрическом пространстве  $Q$  (критерии продукции) с помощью прямых (ФП) и обратных (ФП-1) функций приведения к стандартной шкале

комплексного оценивания (к интервалу  $[1; 4]$ , дискретные значения которого интерпретируется следующим образом: 1 – «неудовлетворительно», 2 – «удовлетворительно», 3 – «хорошо» и 4 – «отлично» [2, 8]). Только в квалиметрическом пространстве возможны дальнейшие свертки детерминантов, играющих роль аргументов в функциях спроса и предложения.

*Положение 5.* На следующем шаге предлагается построить отдельно функции приведения  $\pi_s$ , сначала для потребителя с учетом его предпочтений по каждой качественной характеристике материала  $x_s, s \in [1, 5]$  и цене  $p_x : (\pi_{s_1}, \pi_{s_2}, \pi_{s_3}, \pi_{s_4}, \pi_{s_5}, \pi_{px})$ , а затем функции приведения производителя для двух характеристик: общей стоимости смеси в каждой ячейке адресов  $[U_1, U_2, U_3]$   $\pi_y$  и по цене  $\pi_{px}$ , включающей в себя прибыль от реализации продукции с заданными в адресах ячеек  $[U_1, U_2, U_3]$  качественными параметрами характеристик.

Далее необходимо построить новые массивы альтернатив строительного материала  $M_{x_1}, M_{x_2}, \dots, M_{x_5}$  для каждой отдельной характеристики  $x_s, s \in [1, 5]$  в соответствии с построенными потребителем ФП:  $(\pi_{s_1}, \pi_{s_2}, \pi_{s_3}, \pi_{s_4}, \pi_{s_5}, \pi_{px})$ . На основе полученных массивов необходимо выполнить построение интегрального критерия качества для заданной потребителем конструкции  $\hat{X}_k = (x_1, x_2, x_3, x_4, x_5)$  в фазовом пространстве. После определения интегрального критерия качества конструкции в фазовом пространстве необходимо перевести его в квалиметрическое пространство, построив функции предпочтения потребителя  $\hat{X} = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_p)$ , а затем, для нахождения цены альтернатив материала, функции предпочтения производителя  $\hat{Y}(Y_1, Y_p), Y_p \in (Y_1; Y_1 + Y_p^{\max})$ , где  $Y_p$  – норма прибыли.

*Положение 6.* Следующим этапом управления технологическим процессом производства ассортимента строительных материалов является определение цены для каждой выбранной потребителем альтернативы из массивов  $M_{x_1}, M_{x_2}, \dots, M_{x_5}$  и нахождение оптимальной, наиболее выгодной в соотношении компонентов смеси цены с учетом предпочтений производителя. Цену предлагается находить на основе применения процедуры субъектно-ориентированного ценообразования [8], которая строится посредством варьирования цены  $p = x_p = y_p \in [p_{\min}, p_{\max}]$  с определением уровней удовлетворенности  $\hat{X}(x_s)$  и  $\hat{Y}(y_1)$  участников сделки для фиксированных уровней качества  $X_{Qx}, X_{Qy}$  и заканчивается при наступлении события  $\hat{X}(p)$  и  $\hat{Y}(p)$  с результатом в виде согласованной цены сделки  $p$ .

**Заключение.** Разработанная концепция может служить предпосылкой создания алгоритмического обеспечения оптимального управления параметрами технологического процесса производства ассортимента строительных материалов, обеспечивающего обоснованный выбор материала для изготовления высокоэффективных в установленных условиях применения и эксплуатации строительных конструкций, в том числе и с использованием 3D-печати.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреева В.В. Имитационное моделирование процесса управления технологическим объектом // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия Физико-математические науки. 2001. № 13. С. 165.
2. Алексеев А.О., Кривоги́на Д.Н., Харитонов В.А. Парадигма инженерной поддержки технологий субъектно-ориентированного управления // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (электронный журнал). 2015. № 112. С. 208–229. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/08/pdf/15.pdf> (дата обращения: 13.02.2017).
3. Виттих В.А. Проблемы эвергетики // Проблемы управления. 2014. Вып. 4. С. 69–71.
4. Елисеев А.А. Модели и методы анализа устойчивости произведенных процессов в условиях неопределенности: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. Пермь. 2013. 129 с.
5. Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М.: Московский психолого-социальный институт. 2005. 581 с.
6. Суходеева Н.В., Бабицкий В.В. Методика проектирования состава бетона // Вестн. Белорус. - Рос. ун-та. 2009. №2. С. 167–176.
7. Харитонов В.А., Алексеев А.О. Концепция субъектно-ориентированного управления в социальных и экономических системах // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. Краснодар: КубГАУ. 2015. №05(109). С. 690–706. IDA [article ID]: 1091505043. Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/05/pdf/43.pdf> (дата обращения: 22.03.2017)
8. Харитонов В.А., Гейхман Л.К., Кривоги́на Д.Н. Механизмы субъектно-ориентированного ценообразования в задачах управления венчурными проектами // Вестник Пермского университета. Сер. «Экономика». 2017. Том 12. № 1. С. 61–77. DOI: 10.17072/1994-9960-2017-1-61-77
9. Шаманов В.А., Леонтьев С.В., Курзанов А.Д., Голубев В.А., Харитонов В.А. Современное состояние и перспективы оптимизации технологического процесса производства автоклавного газобетона [Электронный ресурс] // Фундаментальные исследования. 2015. № 5 (часть 3). С. 558–563. Режим доступа: <http://www.rae.ru/fs/pdf/2015/5-3/38300.pdf> (дата обращения: 25.03.2017).
10. Charteris, William Taguchi's system of experimental design and data analysis: a quality engineering technology for the food industry // International Journal of Dairy Technology. 1992. Vol. 45. Pp. 334.
11. Torkaman R, Soltanieh M, Kazemian H. Optimization of Parameters for Synthesis of MFI Nanoparticles by Taguchi Robust Design // Chemical Engineering & Technology. 2010. Vol.33. No.6. Pp. 902–910. DOI: 10.1002/ceat.200900367

**CONCEPT OF SUBJECT-ORIENTED OPTIMIZATION OF  
TECHNOLOGICAL PROCESSES OF PRODUCTION OF ASSORTMENT  
BUILDING MATERIALS**

**Valerii A. Kharitonov**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department  
of Civil Engineering and Material, e-mail: cems@pstu.ru

**Dar'ya N. Krivogina**

Postgraduate Student, e-mail: darya.krivogina@gmail.com  
Perm National Research Polytechnic University  
29, Komsomolsky prospekt, Perm, Russia, 614990

**Abstract.** The paper discusses the development of a concept for the creation of algorithmic support for the optimal control of the parameters of the technological process for the production of an assortment of building materials made of concrete that provides an informed choice of material for the production of high-performance materials in the established conditions of use and operation of building structures.

**Keywords:** mathematical experiment planning, pricing, acceptance of agreed decisions, management of technological processes for the production of building materials.

**References**

1. Andreeva V.V. Imitatsionnoe modelirovanie protsessa upravleniia tekhnologicheskimi ob'ektami [Simulation modeling of the process of management of a technological object] / V. Andreeva // Vestnik Samarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya Fiziko-matematicheskie nauki = Bulletin of the Samara State Technical University. Series Physics and mathematics. 2001. № 13. Pp. 165. (in Russian)
2. Alekseev A.O., Krivogina D.N., Kharitonov V.A. Paradigma inzhenernoi podderzhki tekhnologii syb'ektno-orientirovannogo upravleniia [Paradigm engineering support of subject-oriented management technology] // Polimatematicheskii setevoi elektronnyi jurnal Kybanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta (elektronnyi nauchnyi zhurnal) = Multidisciplinary Network Electronic Scientific Journal of the Kuban State Agrarian University. 2015. №112. Pp. 208–229. Available at: <http://ej.kubagro.ru/2015/08/pdf/15.pdf> (accessed 10.12.2017). (in Russian)
3. Vittikh V.A. Problemy evergetiki [Problems of the power industry] // Problemy upravleniia = Problems of management. 2014. №. 4. Pp. 69–71. (in Russian)
4. Eliseev A.A. Modeli i metody analiza ustoychivosti proizvedennykh protsessov v usloviakh neopredelennosti. Kand. diss. [Models and methods for analyzing the stability of produced processes under uncertainty. Cand. diss.]. Perm. 2013. 129 p.
5. Novikov D.A. Teoriya upravleniya organizatsionnymi sistemami [Organizational systems management theory]. Moscow. Moskovskii psikhologo-socialnii institut = Moscow Psychological and Social Institute Publ. 2005. 581 p. (in Russian).

6. Sukhodeeva N.V., Babitsky V.V. Metodika proektirovaniia sostava betona [Methods of designing the concrete composition] // Vestn. Belorus. - Ros. un-ta. 2009. №2. Pp.167–176. (in Russian)
7. Kharitonov V.A., Alekseev A.O. Kontsepsiia sub"ektno-orientirovannogo upravleniia v sotsial'nykh i ekonomicheskikh sistemakh [The concept of agent-based control in social and economic systems] // Politematicheskii setevoi elektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015. iss. 05 №109. Pp. 690–706. Available at <http://ej.kubagro.ru/2015/05/pdf/43.pdf> (accessed 11.12.2017). (in Russian)
8. Kharitonov V.A., Geikhman L.K., Krivogina D.N. Mechanisms of object oriented pricing in venture project management tasks // Vestnik Permskogo universiteta. Seria Ekonomika = Perm University Herald. Economy. 2017. Vol. 12. №. 1. Pp. 61–77. DOI: 10.17072/1994-9960-2017-1-61-77 (in Russian)
9. Shamanov V.A., Leont'ev S.V., Kurzanov A.D., Golubev V.A., Kharitonov V.A. Sovremennoe sostoianie i perspektivy optimizatsii tekhnologicheskogo protsessa proizvodstva avtoklavnogo gazobetona [Current state and prospects of process optimization production autoclaved aerated concrete] // Fundamental'nye issledovaniia = Fundamental research. 2015. №5. part 3. Pp. 558–563. Available at: <http://www.rae.ru/fs/pdf/2015/5-3/38300.pdf> (accessed 25.12.2017). (in Russian)
10. Charteris, William Taguchi's system of experimental design and data analysis: a quality engineering technology for the food industry / Charteris William // International Journal of Dairy Technology. 1992. Vol. 45. P. 334.
11. Torkaman R, Soltanieh M, Kazemian H. Optimization of Parameters for Synthesis of MFI Nanoparticles by Taguchi Robust Design // Chemical Engineering & Technology. 2010. Vol.33. No.6. Pp. 902–910. DOI: 10.1002/ceat.200900367