

МРНТИ 27.03.45  
УДК 51.510.532

<https://doi.org/10.51889/2020-4.1728-7901.06>

*А.Е. Исмайылов<sup>1</sup>, Ж. Кожамкулова<sup>2</sup>, Ж.С. Сулейменова<sup>3</sup>*

<sup>1,3</sup>*Алматынський технологический университет, г.Алматы, Қазақстан*

<sup>2</sup>*Алматынський университет энергетика и связи, г.Алматы, Қазақстан*

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СИТУАЦИЙ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА И ВЫЯВЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ СПОСОБОВ РАЗРЕШЕНИЙ**

*Аннотация*

В данной работе рассматриваются методы управления, возникающих в экстремальных (аварийных) ситуациях динамической среды обитания производственного объекта. Разработана логико-трансформационные правила алгоритма управления отдельными процессами и биотехнологическими системами (БТС) в целом. Предлагается использовать методику ситуационного управления, которая заключается в том, что множество всех состояний (ситуаций) условно разделяется на множество штатных и нештатных ситуаций. Рассматриваются необходимости совместного использования различных методов (ситуационного, оптимального, гарантированного результата) на соответствующих этапах решения задач управления. Описаны логико-трансформационные правила алгоритма управления отдельными процессами. Согласно результатам исследования основных этапов развития ситуационного управления, ситуационное управление сыграло роль катализатора, вызвав к жизни новые идеи и принципы построения моделей объектов управления.

**Ключевые слова:** штатная или нештатная ситуация, экстремальные (аварийные) ситуация, биотехнологическая производства (БТП), эффективность функционирования объекта управления.

*Аңдатпа*

*А.Е.Исмайылов<sup>1</sup>, Ж. Кожамкулова<sup>2</sup>, Ж.С. Сүлейменова<sup>3</sup>*

<sup>1,3</sup>*Алматы технологиялық университеті, Алматы қ., Қазақстан*

<sup>2</sup>*Алматы энергетика және байланыс университеті, Алматы қ., Қазақстан*

## **БИОТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ӨНДІРІСТІҢ ӘР ТҮРЛІ ЖАҒДАЙЛАРЫН АНЫҚТАУ ЖӘНЕ МҮМКІН БОЛҒАН ШЕШУ ӘДІСТЕРІН ТАБУ**

Бұл жұмыста өндірістік объектінің динамикалық тіршілік ету ортасының экстремалды (апаттық) жағдайларында пайда болатын басқару әдістері қарастырылады. Жеке процестерді басқару алгоритмінің және жалпы БТС логикалық-трансформациялық ережелері әзірленді. Ситуациялық басқару әдістемесін қолдану ұсынылады, ол барлық жай-күйлер (ахуалдар) шартты түрде көптеген штаттық және штаттан тыс жағдайларға бөлінеді. Басқару міндеттерін шешудің тиісті кезеңдерінде әр түрлі әдістерді (жағдайлық, оңтайлы, кепілдік берілген нәтижені) бірлесіп пайдалану қажеттілігі қарастырылады. Жеке процестерді басқару алгоритмінің логикалық-трансформациялық ережелері сипатталған.

Ахуалдық басқаруды дамытудың негізгі кезеңдерін зерттеу нәтижелеріне сәйкес, ахуалдық басқару объектілерінің модельдерін құрудың жаңа идеялары мен принциптерін енгізе отырып, катализатордың рөлін атқарды.

**Түйін сөздер:** штаттық немесе штаттан тыс жағдай, экстремалдық (төтенше) жағдай, биотехнологиялық өндіріс, объекті тиімді басқару.

*Abstract*

## **DETERMINATION OF DIFFERENT SITUATIONS OF BTP AND IDENTIFICATION OF ADMISSIBLE METHODS OF SOLVABILITY**

*A.E. Ismayilov<sup>1</sup>, Zh. Kozhamkulova<sup>2</sup>, Zh.S. Suleimenova<sup>3</sup>*

<sup>1,3</sup>*Almaty technological University Almaty, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*Almaty University of Energy and Communications, Almaty, Kazakhstan*

In this paper, we consider control methods that occur in extreme (emergency) situations of the dynamic environment of the production facility. Moreover, we consider the logical and transformational rules of the control algorithm of individual processes and BPS as a whole. We propose to use the methodology of situational management, which means that the set of all states (situations) is conditionally divided into the set of normal and abnormal situations. Furthermore, we consider the necessity of the joint use of various methods (situational, optimal, guaranteed result) at the appropriate stages of a solution of the control problems. Logical-transformational rules of the control algorithm for individual processes are described. According to the results of the study of the main stages in the development of situational management, the

situational management played a catalytic role, bringing new ideas to life as well as principles for constructing models of control objects.

**Keywords:** normal and abnormal situation, extreme (emergency) situation, biotechnological production (BTP), the efficiency of the control object.

Современные многостадийные производственные объекты, к которым относятся, в частности, биотехнологические производства, приближаются к уровню сложности, где их поведение и свойства не являются суммой свойств отдельных компонентов [1].

Под сложными многоступенчатыми объектами мы понимаем системы, в которых фундаментальные свойства могут быть потеряны при изоляции компонентов, а качественно новые свойства появляются при добавлении компонентов. Каждый из компонентов системы может быть описан набором характерных признаков, значения которых определяют текущее состояние компонента и системы в целом. Таким образом, поведение системы описывается вектором значений характерных признаков с учетом влияния внешних факторов на поведение системы. Выбор математического аппарата для описания явлений, процессов различной природы должен обеспечивать изучение основных определяющих свойств объектов. Математическое описание невозможно без идеализации, игнорирования, упрощения менее значимых факторов, так что полученные неравенства, уравнения, включения исследуются и решаются известными методами. Создание и развитие новых математических методов, совершенствование вычислительной техники смещают баланс между простотой и полнотой описания в сторону усложнения моделей, появляется возможность учитывать большее количество факторов, исследовать сложные «нелинейные эффекты» [2].

Методы решения классических задач управления, успешно реализованные в типовых ситуациях, не в состоянии дать решение всех задач управления, возникающих в экстремальных (аварийных) ситуациях динамической среды производственного объекта.

Это приводит к необходимости совместного использования различных методов (ситуационных, оптимальных, гарантированных результатов) на соответствующих этапах решения задач управления [3].

В связи с этим разработка, исследование и практическое применение алгоритмов управления производственными объектами в экстремальных условиях, направленных на повышение эффективности работы объекта управления, является актуальной научно-технической задачей. Задача управления сводится к построению решающего правила, позволяющего отслеживать и оценивать состояния системы. При этом необходимо учитывать большой объем трудно формализуемых параметров БТП как системы, которые необходимо обрабатывать в режиме реального времени.

Для построения решения задачи управления многоступенчатыми экстремальными состояниями предлагается использовать методологию ситуационного управления, заключающуюся в отнесении текущей ситуации к определенному классу (штатным или аварийным ситуациям), к которому отнесено управляющее решение.

Система управления (СУ) должна отслеживать большой поток быстро меняющихся параметров и своевременно принимать решения по управлению БТП [4]. В настоящее время ситуационное управление активно используется в различных научных областях [5 - 11].

В целом математическая модель БТП представлена функциональной зависимостью между переменными состоянием системы, управляющими воздействиями, наблюдаемыми параметрами системы и внешней среды:

$$Y(t) = F(X(t), U(t), V(t)), \quad (1)$$

где  $X$ - вектор текущего состояния модели системы;  $U$ - вектор управляющих воздействий;  $v$ - вектор внешних воздействий;  $Y$ - вектор выходных сигналов модели.

Необходимо разработать математическую модель функционирования БТП, требующую наличия следующих данных о системе [12]:

$\tilde{X}'(t_i) = \{\tilde{x}_j(t_j)\}$ ,  $i = \overline{1, T}, j = \overline{1, n}$ - вектор характеристических признаков состояния системы в момент времени  $t_i$ ;

$\tilde{X}(t_i) = \{\tilde{x}_j(t_j)\}$ ,  $i = \overline{1, T}, j = \overline{1, n}$ - вектор ситуационных признаков состояния системы в момент времени  $t_i$ ;

$\mu^i = \{\mu_j^i\}$ ,  $i = \overline{1, N_S}, j = \overline{1, n}$ - вектор степени влияния  $j$ -го признака на  $i$ -ю ситуацию;

$S = \{S^i\}, i = \overline{1, N_S}$  - множество возможных ситуаций системы;

$U = \{U^i\}, i = \overline{1, N_U}$  - множество решений по управлению для перевода системы из ситуации  $S^k$  в ситуацию  $S^m$ ,

где  $n$ - число ситуационных признаков;

$T$ - число векторов ситуационных признаков системы, соответствующее дискретным моментам времени;

$N_U$ - число решений по управлению;

$N_S$ - число возможных ситуаций системы.

Вектор признаков  $\bar{X}(t_i)$  характеризующий состояние системы в ситуации  $S^j (j = \overline{1, N_S})$ , представим следующим образом:

$$\bar{X}(t_i) = X_1^i \cup X_2^i \cup X_m^i V^i = X_{first}^i \cup X_{second}^i \quad (2)$$

где  $X_l^i (i = \overline{1, T}, l = \overline{1, m})$ - набор признаков, характеризующих  $i$ -й компонент БТП, при этом,  $X_{l_1}^i \cap X_{l_2}^i = \emptyset, l_1, l_2 = \overline{1, m}, l_1 \neq l_2, m$  - число выделенных компонентов;  $V^i$ - вектор внешних воздействий системы,  $X_{first}^i$ - набор первостепенных ситуационных признаков;  $X_{second}^i$  - набор второстепенных ситуационных признаков, в общем случае  $X_{first}^i \cap X_{second}^i = \emptyset$ .

Проблема решается ограничениями по времени принятия решения и по объему оперативной памяти.

Представим совокупность всех ситуаций  $S$  следующим образом:

$$S = S_1 \cup S_2 = S_1 \cup S_2^1 \cup S_2^2, S_1 \cap S_2 = \emptyset, S_2^1 \cap S_2^2 = \emptyset \quad (3)$$

где  $S_1 = \{S^{l_1}\}, l_1 = \overline{1, N_1}$  - множество штатных ситуаций;

$S_2 = \{S^{l_2}\}, l_2 = \overline{1, N_S}$  - множество нештатных ситуаций;

$S_2^1$  - множество нештатных ситуаций, для которых известны решения по управлению;

$S_2^2$  - множество нештатных ситуаций, для которых решения по управлению не известны.

Таким образом, решения о переводе системы из одной ситуации в другую следует принимать в следующих случаях:

$$1) \quad \forall S^{l_1} \in S_1, (\forall l_1 \in [1, N_1]) \exists U^1: S^{l_1} \rightarrow S^{l_1},$$

$$U^l \in U, S^{l_i} \in S_1, l'_1 \in [1, N_1], l \in [1, N_U],$$

т.е. для любой штатной ситуации существует соответствующее ей решение по управлению, переводящее систему в другую штатную ситуацию;

$$2) \quad \forall S^{l_2} \in S_1, (\forall l_1 \in [1, N_1]) \exists U^1: S^{l_1} \rightarrow S^{l_i},$$

$$U^l \in U, S^{l'_i} \in S_1, l'_1 \in [1, N_1], l \in [1, N_U],$$

т.е. для любой нештатной ситуации из множества  $S_2^1$  существует соответствующее ей решение по управлению, переводящее систему в штатную ситуацию, если это возможно, иначе принимается решение по приостановке функционирования системы;

$$3) \quad \forall S^{l_2} \in S_2^2, (\forall l_2 \in [N_2 + 1, N_S]) \neg \exists U^1: S^{l_2} \rightarrow S^{l'_i},$$

$$U^l \in U, S^{l'_i} \in S_1, l'_1 \in [1, N_1], l \in [1, N_U],$$

т.е. для любой нештатной ситуации из множества  $S_2^2$  не существует соответствующего ей решения по управлению.

В первых двух случаях достаточно решить задачу отнесения текущей ситуации к некоторому классу ситуаций, для которых уже известно решение по управлению. В третьем случае, когда не

имеется решения по управлению, необходимо сформировать процедуру вывода решающего правила по переводу системы из ситуации  $S_i$  в ситуацию  $S_{i+1}$ .

Особенностями алгоритмов ситуационного управления БТС в целом является то, что они основаны на логико-лингвистических моделях, в которых интересны не только статистические данные, накопленные в процессе моделирования, но и динамика различных (состояний) ситуаций. Причем меняются не только (и не столько) числовые параметры, но и структурные описания (например, отношения, реализуемые между отдельными элементами, входящими в описание ситуации).

Все это приводит к необходимости использования возможностей имитационного моделирования и языков описания и трансформации ситуаций при построении алгоритмов для систем ситуационного управления БТС [13, 14].

При этом условия применимости вводятся логико-трансформационными правилами в виде:

Если .....

И .....

И .....

Тогда .....

При имитации различных (состояний) ситуаций отдельных процессов введем следующие правила:

Пенообразование.

1. Если  $V_n \geq h_n^3$ .

И  $G_B > G_B^3$ .

Тогда: Уменьшить подачу  $G_B$  до  $G_B^3$ ,

где  $V_n$  - объем пенообразования;  $h_n^3$  - заданная высота пенообразования;  $G_B$  - расход воздуха;  $G_B^3$  - заданный расход воздуха.

2. Если  $V_n \geq h_n^3$ .

И  $G_B = G_B^3$ .

Тогда: Добавить  $Na(ON)_2$  в соотношении 1:10,

где  $V_n$  - объем пенообразования;  $h_n^3$  - заданная высота пенообразования;  $G_B$  - расход воздуха;  $G_B^3$  - заданный расход воздуха;  $Na(ON)_2$  - аммиачная вода.

3. Если  $V_n \geq h_n^3$ .

И  $G_B < G_B^3$ .

Тогда: Добавить рыбий жир в соотношении 1:10,

где  $V_n$  - объем пенообразования;  $h_n^3$  - заданная высота пенообразования;  $G_B$  - расход воздуха;  $G_B^3$  - заданный расход воздуха.

Уменьшение удельной скорости роста ( $\mu$ ).

1. Если  $\mu < \mu_3$ .

И  $x_M > x_{Ж}$ , в процентном соотношении.

Тогда: Добавить  $N_2, O_2$  и другие компоненты,

где:  $\mu$  - удельная скорость роста;  $\mu_3$  - заданная удельная скорость роста;  $x_M$  - концентрация мертвых дрожжей;  $x_{Ж}$  - концентрация живых дрожжей;  $N_2, O_2$  и другие питательные вещества.

2. Если  $\mu > \mu_3$ .

И  $x_M < x_{Ж}$ , в процентном соотношении.

Тогда: Увеличить  $D$  на 5 %,

где:  $\mu$  - удельная скорость роста;  $\mu_3$  - заданная удельная скорость роста;  $x_M$  - концентрация мертвых дрожжей;  $x_{Ж}$  - концентрация живых дрожжей;  $D$  - дебит.

Увеличение концентрации мертвых дрожжей ( $x_M$ ).

1. Если  $\mu > \mu_3$ .

И  $x_M < x_{Ж}$ , в процентном соотношении.

И  $D = D_3$ .

Тогда: Уменьшить подачу  $G_B$  на 8 %.

где  $\mu$  - удельная скорость роста;  $\mu_3$ - заданная удельная скорость роста;  $x_M$ - концентрация мертвых дрожжей;  $x_J$ - концентрация живых дрожжей;  $D$ - дебит;  $D_3$  - заданный дебит;  $G_B$ - расход воздуха.

2. Если  $\mu > \mu_3$ .

И  $x_M < x_J$ , в процентном соотношении.

И  $D = D_3$ .

И  $G_B = G_B^3$ .

Тогда: Уменьшить подачу  $N_2, O_2$  и другие компоненты на 5 %,

где  $\mu$  - удельная скорость роста;  $\mu_3$  - заданная удельная скорость роста;  $x_M$  - концентрация мертвых дрожжей;  $x_J$ - концентрация живых дрожжей;  $D$ - дебит;  $D_3$  - заданный дебит;  $G_B$ - расход воздуха;  $G_B^3$ - заданный расход воздуха;  $N_2, O_2$  и другие питательные вещества.

Низкий выход продукта ( $P$ ).

1. Если  $x_M \geq x_3$ .

И  $T > T_3$ .

И  $G_B = G_B^3$ .

И  $pH = pH_3$ .

Тогда: Увеличить подачу  $N_2, O_2$  и другие компоненты на 5 %,

где  $x_M$ - концентрация мертвых дрожжей;  $x_3$ - заданная концентрация дрожжей;  $T$ - температура;  $T_3$  - заданная температура;  $G_B$  - расход воздуха;  $G_B^3$  - заданный расход воздуха;  $pH$  - концентрация водородных ионов;  $pH_3$ - заданная концентрация водородных ионов;  $N_2, O_2$  и другие питательные вещества.

2. Если  $x_M > x_3$ .

и  $T > T_3$ .

и  $G_B = G_B^3$ .

и  $pH = pH_3$ .

и  $G_{пв} = G_{пв}^3$ .

Тогда: Увеличить  $pB$  в сусле на 8 %,

где:  $x_M$  - концентрация мертвых дрожжей;  $x_3$  - заданная концентрация дрожжей;  $T$ - температура;  $T_3$ - заданная температура;  $G_B$ - расход воздуха;  $G_B^3$ - заданный расход воздуха;  $pH$ - концентрация водородных ионов;  $pH_3$ - заданная концентрация водородных ионов;  $G_{пв}$  - расход пенного вещества;  $G_{пв}^3$ - заданный расход пенного вещества;  $pB$ - концентрация редуцирующих веществ.

3. Если  $x_M > x_3$ .

и  $T > T_3$ .

и  $G_B = G_B^3$ .

и  $pH = pH_3$ .

и  $G_{пв} = G_{пв}^3$ .

и  $pB = pB_m$ .

Тогда: Остановить процесс и провести стерилизацию,

где:  $x_M$ - концентрация мертвых дрожжей;  $x_3$ - заданная концентрация дрожжей;  $T$ - температура;  $T_3$ - заданная температура;  $G_B$  - расход воздуха;  $G_B^3$ - заданный расход воздуха;  $pH$ - концентрация водородных ионов;  $pH_3$ - заданная концентрация водородных ионов;  $G_{пв}$  - расход пенного вещества;  $G_{пв}^3$ - заданный расход пенного вещества;  $pB$ - концентрация редуцирующих веществ;  $pB_m$ - требуемая концентрация редуцирующих веществ.

Описанные логико-трансформационные правила алгоритма управления отдельными процессами и БТС в целом содержат условия применимости, выполнение которых позволяет изменениям адекватно описывать различные (состояния) ситуации. Отметим, что описание текущих ситуаций и их описание логико-трансформационными правилами для БТС громоздко, а работа по формированию необходимого списка правил и, соответственно, алгоритмов - очень трудоемкая задача [15].

Для построения решения по управлению производственным объектом с экстремальными состояниями предлагается использовать методiku ситуационного управления, заключающуюся в том, что совокупность всех состояний (ситуаций) условно разбивается на совокупность штатных и нестандартных ситуаций. По результатам ограниченного количества измерений необходимо отнести текущую ситуацию к одной из вышеперечисленных групп и принять адекватное решение по управлению объектом.

По результатам исследования основных этапов развития ситуационного управления, ситуационное управление сыграло роль катализатора, воплощая в жизнь новые идеи и принципы построения моделей объектов управления. В настоящее время практически невозможно отделить развитие собственно ситуационного управления от развития интеллектуального управления, органично включившего в себя своего исторического предшественника.

*Список использованной литературы:*

- 1 Бахур А.Б. (2000) Системные идеи в современной инженерной практике (интегративно-функциональный подход) // М.: Пров-пресс. - 380 с.
- 2 Жуковский Е.С., Плужникова Е.А. (2015) Об управлении объектами, движение которых описывается неявными нелинейными дифференциальными уравнениями // Автомат. Ителемех №1, 2015,- С. 31–56.
- 3 Гостев В.И., Чинаев П.И. (1979) Замкнутые системы с периодически изменяющимися параметрами // М.: Энергия. - 271 с.
- 4 Поспелов Д.А. (2006) Ситуационное управление // Теория и практика. - М.: Наука.
- 5 Wisniewski M. (2020) Methodology of Situational Management of Critical Infrastructure Security // Foundations of Management. Vol. 12, №1, P. 43-60.
- 6 Orlova E.V. (2020) Approach for Modeling and Situational Management of Industrial Product Efficiency // Lecture Notes in Mechanical Engineering. P. 427-437.
- 7 Zegzhda D.P., Pavlenko E.Y. (2018) Cyber-sustainability of Software-Defined Networks Based on Situational Management // Automatic Control and Computer Sciences. Vol. 52, №8, P. 984-992.
- 8 Tebueva F.B., Kopytov V.V., Petrenko V.I., Shulgin A.O., Demirtchev N.G. (2018) The identification of data anomalies from information sensors based on the estimation of the correlation dimension of the time series attractor in situational management systems // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. Vol. 96, №8, P. 2197-2207.
- 9 Zatsarinny A.A., Suchkov A.P. (2018) The situational management system as a multiservice technology in the cloud // Informatika i eePrimeneniya. Vol. 12, №1, P. 78-88.
- 10 Rassokha V., Iskhakov M. (2017) Program and Target-Oriented and Situational Approaches in Management of Route Vehicles on Stopping Points // Transportation Research Procedia. Vol. 20, P. 550-555.
- 11 Lippe S., VomBrocke J. (2016) Situational Project Management for Collaborative Research Projects // Project Management Journal. Vol. 47, №1, P. 76-96.
- 12 Холл А. (1975) Опыт методологии для системотехники //пер.с англ.А.Холл. –М.: Сов.радио.-448с.
- 13 Левенчук А. (2018) Системное мышление // Учебник. Изд.система Ridero.
- 14 Волкова В.Н., Денисов А.А. (2006) Теория систем: Учебник для студентов вузов // М.: Высшая школа. - 511 с
- 15 Спицнадель В.Н. (2000) Основы системного анализа. Учебное пособие // «Изд. дом «Бизнес-пресса»». Санкт-Петербург. – 326с.

*References:*

- 1 Bahur A.B. (2000) Sistemnye idei v sovremennoj inzhenernoj praktike (integrativno-funkcional'nyj podhod) [System ideas in modern engineering practice (integrative-functional approach)]. M, Prov-press, 380. (In Russian)
- 2 Zhukovskij E.S., Pluzhnikova E.A. (2015) Ob upravlenii obektami, dvizhenie kotoryh opisivaetsja nejavnyimi nelinejnymi differencial'nymi uravnenijami [On the control of objects whose motion is described by implicit nonlinear differential equations]. Avtomat. Itelemeh №1, 2015,31–56. (In Russian)
- 3 Gostev V.I., Chinaev P.I. (1979) Zamknutyje sistemy s periodicheski izmenjajushhimisja parametrami [Closed systems with periodically changing parameters]. M. Jenergija, 271. (In Russian)
- 4 Pospelov D.A. (2006) Situacionnoe upravlenie [Situational management]. Teorija i praktika, M. Nauka. (In Russian)
- 5 Wisniewski M. (2020) Methodology of Situational Management of Critical Infrastructure Security. Foundations of Management. Vol. 12, №1, 43-60. (In Russian)
- 6 Orlova E.V. (2020) Approach for Modeling and Situational Management of Industrial Product Efficiency. Lecture Notes in Mechanical Engineering. 427-437. (In English)

7 Zegzhda D.P., Pavlenko E.Y. (2018) Cyber-sustainability of Software-Defined Networks Based on Situational Management. *Automatic Control and Computer Sciences*. Vol. 52, №8, 984-992. (In English)

8 Tebueva F.B., Kopytov V.V., Petrenko V.I., Shulgin A.O., Demirtchev N.G. (2018) The identification of data anomalies from information sensors based on the estimation of the correlation dimension of the time series attractor in situational management systems. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*. Vol. 96, №8, 2197-2207. (In English)

9 Zatsarinny A.A., Suchkov A.P. (2018) The situational management system as a multiservice technology in the cloud. *Informatika i eePrimeneniya*. Vol. 12, №1, 78-88. (In English)

10 Rassokha V., Iskhakov M. (2017) Program and Target-Oriented and Situational Approaches in Management of Route Vehicles on Stopping Points. *Transportation Research Procedia*. Vol. 20, 550-555. (In English)

11 Lippe S., VomBrocke J. (2016) Situational Project Management for Collaborative Research Projects. *Project Management Journal*. Vol. 47, №1, 76-96. (In English)

12 Holl A. (1975) Opyt metodologii dlja sistemotehniki [Experience of methodology for system engineering]. *Per.s angl.A.Holl.M., Sov.radio*.448. (In Russian)

13 Levenchuk A. (2018) Sistemnoe myshlenie [Systems thinking]. *Uchebnik. Izd.sistema Ridero*. (In Russian)

14 Volkova V.N., Denisov A.A. (2006) Teorija sistem: Uchebnik dlja studentov vuzov [Systems theory: Textbook for university students]. *M.Vysshaja shkola*, 511. (In Russian)

15 Spicnadel' V.N. (2000) Osnovy sistemnogo analiza. *Uchebnoe posobie [Fundamentals of system analysis. Training manual]*. *Izd. dom «Biznes-pressa», Sankt-Peterburg*, 326. (In Russian)