

УДК 681.3

DOI: [10.26102/2310-6018/2023.40.1.020](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.40.1.020)

Анализ возможностей построения рациональной структуры киберфизической системы

Т.В. Аветисян✉, Я.Е. Львович, А.П. Преображенский

Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация
vtatyana_avetisyan@mail.ru✉

Резюме. Анализ показывает, что киберфизические системы, вместе с кибербиологическими и киберсоциальными системами, в настоящее время рассматриваются как ключевые элементы в современных инфотелекоммуникационных системах. Концепция киберфизической системы базируется на том, что существует дуализм физической и кибернетической сред. За счет того, что комбинируется физическая, биологическая, социальная среда и в дальнейшем внедряется киберпространство, возникают значительные возможности для реализации самых различных функций. При этом появляются новые проблемы, например, связанные с моделированием процессов внутри подобных систем. Существует также проблема мониторинга внутри киберфизической системы, поскольку данные могут быть пропущены. Поэтому в данной статье была поставлена задача формирования такой структуры киберфизической системы, чтобы эффективность ее функционирования была как можно больше. После осуществленных исследований в работе была предложена процедура формирования рациональной структуры такой системы. Выбор компонентов в ней основывается на принципе их ранжирования относительно того, какое значение ценности с точки зрения системы. В работе были предложены два вида ограничений. Первые из них связаны с площадью рассматриваемой системы, а вторые связаны с применяемыми технологиями. На начальном этапе экспертами на основе информационной системы реализуется выбор компонентов киберфизической системы. В дальнейшем применяются две процедуры выбора. В качестве основного результата в работе предложена структурная схема, связанная с оптимальным выбором компонентов киберфизической системы.

Ключевые слова: киберфизическая система, структура, оптимизация, эксперт, информационная система.

Для цитирования: Аветисян Т.В., Львович Я.Е., Преображенский А.П. Анализ возможностей построения рациональной структуры киберфизической системы. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2023;11(1). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1235> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.40.1.020

Analysis of the possibilities of building a rational structure of the cyber-physical system

T.V. Avetisyan✉, Y.E. Lvovich, A.P. Preobrazhenskiy

Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russian Federation
vtatyana_avetisyan@mail.ru✉

Abstract. The analysis shows that cyber-physical systems together with cyber-biological and cyber-social systems are now considered as key elements in modern infotelecommunication systems. The concept of a cyber-physical system is based on a dualism of the physical and cybernetic environments. Due to the fact that the physical, biological and social environments are combined and cyberspace is further introduced, there are significant opportunities for the implementation of a wide variety of functions. At the same time, new problems appear, for example, those associated with modeling the processes within such systems. There is also the issue of monitoring within the cyber-physical system

since the data can be missed. Therefore, this article aims to develop such a structure of a cyber-physical systems so that its efficiency would be as high as possible. The paper proposes a procedure for the formation of a rational structure of such a system. The components are chosen according to the principle of ranking components relative to their value from the system's point of view. Two types of constraints are used, the first of which are related to the area of the system in question, and the second are related to the technologies employed. At the initial stage, experts implement the choice of components of a cyber-physical system by means of the information system. Next, two selection procedures are applied. As the key result, a structural scheme related to the optimal choice of components of a cyber-physical system is suggested.

Keywords: cyber-physical system, structure, optimization, expert, information system.

For citation: Avetisyan T.V., Lvovich Y.E., Preobrazhenskiy A.P. Analysis of the possibilities of building a rational structure of the cyber-physical system. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2023;11(1). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1235> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.40.1.020 (In Russ.).

Введение

Киберфизические системы рассматриваются в виде систем, которые сформированы на базе разных природных объектов, искусственных подсистем и управляющих контроллеров, которые дают возможности для представления такого образования в виде единого целого.

Компьютерами осуществляется мониторинг и управление физическими процессами с привлечением петли обратной связи. При этом процессы, реализуемые в физических системах, будут оказывать влияние на вычисления и наоборот.

Сложность подобного типа задач ведет к тому, что мы не рассматриваем автоматизированные системы, которые будут более крупными, чем действующие в настоящий момент, когда компьютеры будут интегрированными или встроенными соответствующие физические устройства или системы. Можно говорить о том, что гармоничным образом сосуществуют два типа моделей. С одной стороны можно рассматривать традиционные инженерные модели, а с другой - модели компьютерные. Не всегда существуют возможности для их явного аналитического выражения при помощи управляющих воздействий. То, насколько исследования киберфизических систем, являются эффективными, рассматривается на основе набора противоречивых критериев [1, 2].

Степень эффективности интеллектуальной поддержки киберфизических систем при осуществлении в них процессов мониторинга определяется адекватностью математического описания соответствующих моделей и совокупности компонентов, на основе которых киберфизические системы формируются. Над этим работают проектировщики и разработчики информационных систем [3, 4]. Все это обозначает проблему формирования киберфизической системы с учетом заранее определенных критериев.

Целью данной работы является разработка подходов, направленных на создание рациональной структуры киберфизической системы.

Проблемы формирования структуры киберфизической системы

Структура киберфизической системы определяется требованиями к эффективности интеллектуальной поддержки пользователя. Прогнозируются значения показателей различных видов процессов, когда реализуются диалоговые процедуры. Реализуется разработка обучающих процедур и их интеграция с процедурами,

связанными со сбором и обработкой информации, математическим описанием и анализом [5, 6].

В киберфизической системе в качестве ее базовых компонентов необходимо рассматривать некоторые инвариантные модули. Они рассматриваются в виде инструментального обеспечения, которое связано со сбором информации относительно параметров и показателей различных процессов. При реализации киберфизической системы существует несколько базовых процедур: выбор структуры математической модели для всего диапазона, в котором изменяются входные величины и управляющие воздействия; первичная обработка информации; идентификация по параметрам модели в каждом диапазоне однородности параметров системы; декомпозиция по математическому описанию в рамках однородных компонент; анализ процессов на основе использования математической модели для диапазона изменения входных величин и управляющих воздействий; выбор различных видов воздействий [7]; прогнозирование по значениям показателей процессов во времени; обучающие процедуры по каждому из отмеченных модулей (Рисунок 1)

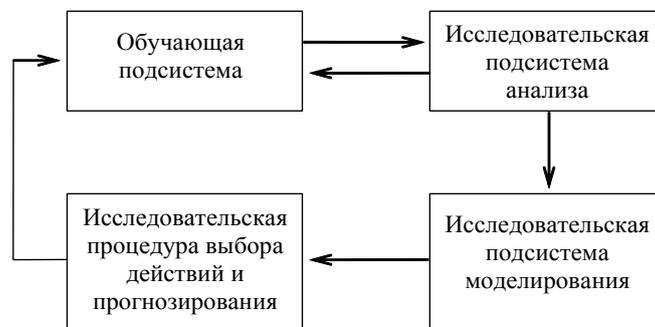


Рисунок 1 – Иллюстрация схемы киберфизической системы
 Figure 1 – Illustration of the cyber-physical system diagram

Проведенный анализ показал, что систему должны формировать предметно-ориентированные модули помимо инвариантных модулей. Они связаны с характеристиками инструментального обеспечения сбора информации при реализации в системе различных процессов [8]. Также должны быть библиотеки моделей и типовых схем обработки информации, соответствующим различным исходным состояниям системы.

Перейдем к формированию единой алгоритмической схемы принятия решений по распределению ресурсного обеспечения при заданном горизонте планирования развития киберфизической системы.

Осуществление рационального выбора структуры киберфизической системы

При проведении процедур, связанных с формированием киберфизической системы необходимо делать выбор по ее составляющим, которые относятся к четырем группам: компоненты вычислительной техники (КВТ); аппаратура, необходимая для рассматриваемой предметной области; средства, позволяющие сопрягать аппаратные и вычислительные средства; программные модули, позволяющие осуществлять обработку информации [9].

Когда проводится выбор компонентов, которые будут формировать киберфизический комплекс, необходимо учитывать то, что они характеризуются различной ценностью с точки зрения формирования системы. Для того, чтобы проводить выбор, необходимо ввести альтернативные переменные:

$$x_{j1} = \begin{cases} 1, & \text{если выбирается } j_1\text{-й тип КВТ,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad j_1 = \overline{1, J_1}; \quad (1)$$

$$x_{j2} = \begin{cases} 1, & \text{если выбирается } j_2\text{-й тип аппаратуры в} \\ & \text{киберфизической системе,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad j_1 = \overline{1, J_2}; \quad (2)$$

$$x_{j3} = \begin{cases} 1, & \text{если выбирается } j_3\text{-й тип сопряжения,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad j_1 = \overline{1, J_3}; \quad (3)$$

$$x_{j4} = \begin{cases} 1, & \text{если выбирается } j_4\text{-й тип программного модуля,} \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad j_1 = \overline{1, J_4}. \quad (4)$$

Происходит ранжирование компонентов внутри каждой группы относительно их ценности с точки зрения системы. Ранги представляются при помощи количественных оценок:

$$a_{j1}(j_1 = \overline{1, J_1}), a_{j2}(j_2 = \overline{1, J_2}), a_{j3}(j_3 = \overline{1, J_3}), a_{j4}(j_4 = \overline{1, J_4}). \quad (5)$$

Среди всей совокупности важно осуществить выбор по таким компонентам, которые будут обеспечивать в системе общую ценность реализации некоторой возможности (например, обеспечение заданного уровня эффективности):

$$\sum_{j_1=1}^{J_1} a_{j1}x_{j1} + \sum_{j_2=1}^{J_2} a_{j2}x_{j2} + \sum_{j_3=1}^{J_3} a_{j3}x_{j3} + \sum_{j_4=1}^{J_4} a_{j4}x_{j4} \rightarrow \max \quad (6)$$

Необходимо учитывать соответствующие ограничения при использовании целевой функции (6). Первая совокупность ограничений определяется некоторой площадью, внутри которой осуществляется размещение аппаратно-вычислительного комплекса, основываясь на том, какие правила по охране труда и метрологические условия, материальные средства, которые выделяются для того, чтобы создать систему [9]. С точки зрения формализованного вида можно таким способом представить ограничения:

$$\sum_{j_1=1}^{J_1} s_{j1}x_{j1} + \sum_{j_2=1}^{J_2} s_{j2}x_{j2} + \sum_{j_3=1}^{J_3} s_{j3}x_{j3} \leq S^*, \quad (7)$$

$$\sum_{j_1=1}^{J_1} c_{j1}x_{j1} + \sum_{j_2=1}^{J_2} c_{j2}x_{j2} + \sum_{j_3=1}^{J_3} c_{j3}x_{j3} + \sum_{j_4=1}^{J_4} c_{j4}x_{j4} \leq C^*, \quad (8)$$

при этом в ходе моделирования используются обозначения s_{j1}, s_{j2}, s_{j3} – площади, которые требуются, чтобы оборудование было установлено при учете всех сопутствующих требований; C – значения выделяемых материальных средств; S – значение площади, которая выделяется для системы; $c_{j1}, c_{j2}, c_{j3}, c_{j4}$ – значения затрат, связанных с приобретением, установкой, запуском и эксплуатацией аппаратных и программных средств.

Во второй совокупности ограничений рассматривается определенное построение технологий предметной области и комплекса программных средств. Тогда существование определенной единицы специальной аппаратуры может привести к необходимости дальнейшего включения внутри структуры системы других типов аппаратуры, соответствующих средств, связанных с сопряжением и программных

модулей. Подобно этому проведение выбора по некоторому виду КВТ будет оказывать влияние на то, как выбираются программные модули, средства сопряжения. С точки зрения формального подхода компоненты будут связаны на основе таких типов ограничений:

$$\sum_{j_1=1}^{J_1} x_{j_1} + \sum_{j_2=1}^{J_2} x_{j_2} + \sum_{j_3=1}^{J_3} x_{j_3} + \sum_{j_4=1}^{J_4} x_{j_4} = d_t \quad (t = \overline{1, T}), \quad (9)$$

в данном выражении $d_t = 2, 3, 4$; индекс t будет демонстрировать номер по связанной группе компонентов. За счет него будут определены те компоненты, которые входят в каждую из сумм.

Можно прийти к линейной многоальтернативной оптимизационной модели при объединении целевой функции (6) и ограничений (7)-(9).

В киберфизической системе задачу, связанную с оптимальным выбором компонентов с точки зрения формализованной постановки, можно рассматривать как задачу дискретной оптимизации при специальном виде ограничений [10]. Можно привлекать рандомизированные алгоритмы многоальтернативной оптимизации для того, чтобы ее решать. В подобных алгоритмах то, насколько будут решения эффективными, определяется в большой мере начальным вариантом. Чтобы получить этот начальный вариант, мы предлагаем применять наглядно-образную модель [11] в задаче и осуществлять модификацию процедуры формирования экспертных прогностических оценок.

Для каждого из элемента множеств можно указать два показателя (площадь и затраты). Существуют весовые коэффициенты и определенная связь между элементами указанных выше четырех групп. В таком случае элементы будут визуализироваться на плоскости как множество точек. Среди точек будут проводиться связи, которые соответствуют $t = \overline{1, T}$ ограничениям. В рамках визуальных представлений эксперт интуитивным образом ведет выделение множеств $p_l (l = \overline{1, L})$ точек в каждой группе, которая имеет компактное расположение относительно плоскости. В рамках l -го множества происходит реализация определения по среднему значению площади и затратам.

Эксперты при помощи информационной системы [12] будут проводить указание набора четырех множеств p_l в рамках каждой группы. Внутри них с привлечением средних значений будут выполняться ограничения по площадям и затратам. Также относительно точек подобных множеств будут указываться весовые коэффициенты a_j .

Применяются две процедуры. Их реализуют в рамках $t = \overline{1, T}$ ограничений относительно значений весовых коэффициентов. На выбор процедур оказывают влияние связи между точками. Процедуры будут следующими:

1) проведение отсечения по неперспективным точкам для ограничений связанности и значений весовых коэффициентов;

2) обозначение начальных вероятностей по альтернативным переменным x_j
 $0 \leq P_{x_j} \leq 1$.

За счет первой процедуры обеспечивается сокращение по исходному множеству вариантов. За счет второй можно повышать эффективность в запуске рандомизированных схем [13, 14]. На практике для первого шага при поиске принимается равномерное распределение по значениям альтернативных переменных x_j :

$$\left. \begin{aligned} p_{x_j}^1 &= p(x_j = 1) = 0,5 \\ q_{x_j}^1 &= p(x_j = 0) = 0,5 \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Тогда происходит увеличение экспертом значений в начальных вероятностях $p_{x_j} > 0,5$ по точкам, по которым будет значение весового коэффициента больше, чем среднего по группе. Будет уменьшение $p_{x_j} < 0,5$ в противном случае.

На основе интерактивного режима определяется начальное распределение по альтернативным переменным. Тогда происходит запуск процедур, связанных с автоматическим рандомизированным поиском. В качестве основы при их запуске считаем модуль x_j . Им, в данном случае, будут реализованы такие соотношения:

$$x_j = \begin{cases} 1, & \text{если } \mathcal{E} \cdot p_{x_j}^1 \geq \tilde{\zeta}, \\ 0, & \text{если } \mathcal{E} \cdot p_{x_j}^1 < \tilde{\zeta}, \end{cases} \quad (11)$$

В ходе реализации процессов моделирования $\tilde{\zeta}$ рассматривается в виде случайного числа, которое равномерным образом распределено по интервалу (0,1).

Происходит определение вариаций целевой функции оптимизационной модели, связанной с выбором составляющих киберфизической системы. При этом используются реализация альтернативных переменных x_j , основываясь на (11). Покажем при этом основные шаги этой оптимизационной модели. Происходит фиксация номера j переменной x_j , для которого по k -му шагу будет реализовываться поиск. По другим переменным будут случайные значения, основываясь на (11). Для вариации на k -м шаге относительно m -й переменной получаем

$$\Delta_j^k = F(\tilde{x}_1 \tilde{x}_{j-1}, x_{j-1}, x_j = 1, \tilde{x}_{j+1}, \dots, x_j) - F(\tilde{x}_1 \tilde{x}_{j-1}, x_{j-1}, x_j = 0, \tilde{x}_{j+1}, \dots, x_j), \quad (12)$$

в этом выражении $\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_{j-1}, \tilde{x}_{j+1}, \dots, \tilde{x}_j$ являются случайными реализациями по альтернативным переменным. Вариацию (12) рассматриваем как случайные величины u . То, как реализуются альтернативные переменные, может привести к нескольким реализациям $\Delta_{1j}^k F, \Delta_{2j}^k F, \Delta_{3j}^k F, \dots$

Такие реализации рассматриваются в качестве основы, чтобы вычислять расчетные прогностические оценки.

Проведение вычислений по прогностическим оценкам при фиксированной переменной x_j ведется на основе такой формулы:

$$B_{расч}^k(x_m) = \left\{ P \gamma_m^k + P \delta_m^{k+1} \left[q^k \gamma_m \mathfrak{N}(\Delta_{2m}^k F \cdot \Delta_{1m}^k F) - P \gamma_m^k \mathfrak{N}(-\Delta_{2m}^k F \cdot \Delta_{1m}^k F) \right] \right\} q_{xm}^k \mathfrak{N}(\Delta_{1m}^k F) - P_{xm}^k \mathfrak{N}(-\Delta_{1m}^k F). \quad (13)$$

Рассмотрим соотношение (13). Прежде всего, ключевая роль в нем связана со знаковой характеристикой функции (\mathfrak{N}). Она будет принимать значение "1", если положительный аргумент, и "0" – в противном случае. То, как она влияет на значения $B_{расч}$ определяется знаком первой реализации $\Delta_{1j}^k F$. Также это соотношение дает

возможности для того, чтобы учитывать два параллельных опыта, связанных с оценкой вариации по произведению $\Delta_{2j}^k F \cdot \Delta_{1j}^k F$. В случае, когда наблюдается совпадение знаков реализаций $\Delta_{1j}^k F$ внутри произведения, тогда ведет к большему изменению $B_{расч}$.

Чтобы осуществлять параметризацию (13), используются булевые переменные γ_m, δ_m . Они рассматриваются в виде шага движения. Для них характерны такие распределения по их случайным реализациям:

$$P_{\delta_j} = P(\delta_j = 1), q_{\delta_j} = P(\delta_j = 0). \quad (14)$$

$$P_{\gamma_j} = P(\gamma_j = 1), q_{\gamma_j} = P(\gamma_j = 0); \quad (15)$$

Чтобы осуществлять коррекцию по начальным значениям (14)-(15), мы предлагаем применять экспертную информацию. Для первого шага $P_{\gamma_j^1} = 0,5, P_{\delta_j^1} = 0,5$. После этого наблюдают особенности визуального представления по множеству p_1 . Когда для очередного шага реализуется изменение P_{x_j} к точкам, имеющим большие весовые коэффициенты, тогда имеет смысл $P_{\gamma_m}, P_{\delta_m}$ выбирать больше, чем 0,5, иначе – меньше 0,5.

Можно представить схему коррекции по начальному распределению вероятностей по альтернативным переменным следующим образом

$$P_{x_j}^{k+1} = P_{x_j}^k + B_{расч}(x_j) \quad (16)$$

Есть возможности для повышения эффективности в поисковых процедурах вследствие того, что рациональным образом выбирается номер переменной, в рамках которой ведется процесс коррекции (16). При рассмотрении визуального представления по элементам выбора плоскости можно увидеть, что для одних точек, которые находятся внутри зоны с более высокими весовыми коэффициентами, требуется применение более частого перебора по индуцируемым ими вариантам, чтобы выяснять их преимущество среди остальных. В связи с этим мы можем осуществить процесс ранжирования по номерам переменных за счет того, что вводится случайная величина η . Она принимает значения $\overline{1, m}$ при вероятностях:

$$P_j = P(\eta = 1), j = \overline{1, J}, \sum_{j=1}^J P_j = 1. \quad (17)$$

Происходит установление начального распределения $P_j^1 (j = \overline{1, J})$ относительно весовых коэффициентов. Чтобы вести коррекцию, применяются прогностические оценки. Базируются они на первой и третьей реализациях (12).

$$B_j^k = P^k \varepsilon \left[q_j^k \aleph(\Delta_{1j}^k F \cdot \Delta_{3j}^k F) - P_j^k \aleph(-\Delta_{1j}^k F \cdot \Delta_{3j}^k F) \right], \quad (18)$$

в этом выражении $P^k \varepsilon$ рассматривается в виде параметра алгоритма. Он играет роль шага движения. Его мы считаем вероятностью того, что случайная булева величина ε будет принимать значение 1 ($P_\varepsilon = P(\varepsilon = 1)$).

Чтобы выполнить условие по нормировке $\sum_{j=1}^J p_j = 1$, сначала определяем новое значение

$$p_j^{k+1} = p_j^k + B_j^k, \quad (19)$$

после этого ведется расчет значений $p_n^{k+1} \quad jn = \overline{1, J}, n \neq j$,

$$p_n^{k+1} = p_n^k + B_n^k,$$

При этом

$$B_n^k = - \frac{p_n^k B_j^k}{\sum_{\substack{n=1 \\ n \neq j}} p_n^k}, \quad n = \overline{1, J}, n \neq j. \quad (20)$$

За счет распределения $p_j^k (j = \overline{1, J})$ есть возможности для автоматизации процедуры, связанной с выбором номера переменной, которая будет наиболее эффективна при последующем поиске. Происходит генерация значения случайной величины ζ , которая равномерным образом распределена в пределах интервала (0,1).

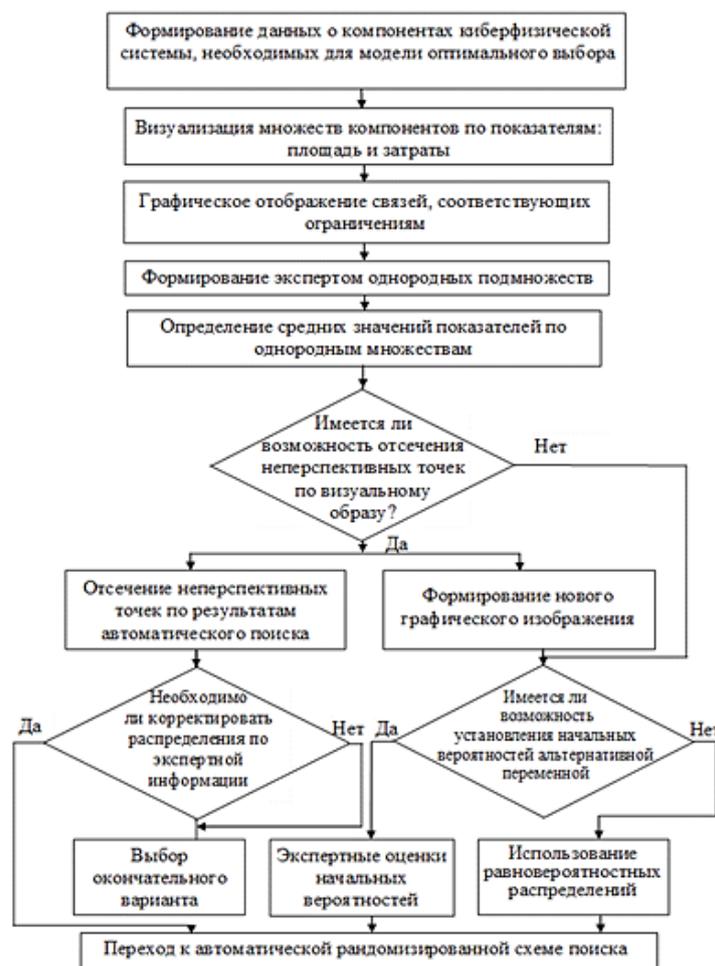


Рисунок 2 – Иллюстрация структурной схемы, связанной с оптимальным выбором компонентов
Figure 2 – Illustration of the structural diagram associated with optimal component selection

После этого осуществляется сравнение $\tilde{\zeta}$ и p_1 . В случае, когда $\tilde{\zeta} < p_1$, поиск реализуется относительно переменной $j = 1$. Когда $\tilde{\zeta} >> p_1$, сравнение ведется с $p_1 + p_2$. Когда $\tilde{\zeta} \leq p_1 + p_2$, поиск будет осуществляться относительно переменной, имеющей номер $j = 2$. Иначе, сравнение будет происходить с $p_1 + p_2 + p_3$ и т. д.

На Рисунке 2 ниже можно видеть структурную схему, связанную с оптимальным выбором компонентов киберфизической системы.

Заключение

При формировании киберфизической системы в качестве ключевых принципов в ходе интеграции выбраны следующие: использование общесистемных принципов и некоторые специальные принципы: 1) иерархичность в построении системы; обоснование эффективности в процессах, связанных с интеграцией; формирование и функционирование интегрированных банков данных; 2) междууровневая и внутриуровневая функциональная, организационно-экономическая, информационная, математическая и техническая интеграция; осуществление декомпозиции по объектам и целям на элементы и подцели; функциональная полнота управления; 3) взаимосвязь и согласованность по действиям среди элементов системы, как по различным иерархическим уровням, так и внутриуровневым.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Львович Я.Е., Львович И.Я., Чопоров О.Н. *Оптимизация цифрового управления в организационных системах: коллективная монография под общей редакцией Я.Е. Львовича*. Воронеж: ИПЦ "Научная книга"; 2021. 191 с.
2. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. Анализ некоторых направлений повышения пропускной способности ip-сетей связи. *Вестник Воронежского института высоких технологий*. 2022;1(40):42–45.
3. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. Особенности оптимизации беспроводных систем связи. *Вестник Воронежского института высоких технологий*. 202;1(40):68–71.
4. Львович И.Я., Львович Я.Е., Фролов В.Н. *Информационные технологии моделирования и оптимизации: краткая теория и приложения*. Воронеж: ИПЦ "Научная книга"; 2016. 444 с.
5. Иноземцев С.А., Линкина А.В. Экономический и социальный эффект цифровой трансформации. *Вестник Воронежского института высоких технологий*. 2022;1(40):155–158.
6. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. Анализ особенностей приема и передачи сигналов в компьютерных сетях. *Вестник Воронежского института высоких технологий*. 2022;1(40):75–78.
7. Львович Я.Е. *Многоальтернативная оптимизация: теория и применение*. Воронеж: Издательский дом "Кварта"; 2006. 415 с.
8. Preobrazhenskiy Yu.P., Chuprinskaya Yu.L., Ruzhicky E. The problems of process control in computer systems. *Вестник Воронежского института высоких технологий*. 2022;1(40):92–94.
9. Львович Я.Е., Преображенский Ю.П., Ружицкий Е. Анализ возможностей управления системами "интернет вещей". *Вестник Воронежского института высоких технологий*. 2022;2(41):112–115.
10. Батищев Д.И., Львович Я.Е., Фролов В.Н. *Оптимизация в САПР*. Воронеж: Воронежского госуниверситета; 1997. 416 с.

11. Львович Я.Е., Львович И.Я. *Принятие решений в экспертно-виртуальной среде*. Воронеж: ИПЦ "Научная книга"; 2010. 140 с.
12. Чупринская Ю.Л., Линкина А.В. Краткий обзор современных технологических трендов в контексте цифровой трансформации. *Вестник Воронежского института высоких технологий*. 2022;1(40):107–109.
13. Воронов А.А., Блинов Р.А., Смирнов А.О., Иванов П.Т., Александров А.А. Применение методов системного анализа для повышения эффективности работы транспортных предприятий. *Вестник Воронежского института высоких технологий*. 2022;1(40):114–117.
14. Preobrazhenskiy Yu.P., Azer K.M.V., Dzhumageldiev D. Some characteristics of computer networks. *Вестник Воронежского института высоких технологий*. 2022;1(40):86–88.

REFERENCES

1. Lvovich Y.E., Lvovich I.Y., Choporov O.N. *Optimization of digital management in organizational systems: a collective monograph edited by Y.E. Lvovich*. Voronezh: IPC "Nauchnaya kniga"; 2021. 191 p. (In Russ.).
2. Lvovich Y.E., Preobrazhenskiy Y.P., Ruzhitskiy E. Analysis of some directions of increasing the capacity of ip-network communication. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy = Bulletin of Voronezh Institute of High Technologies*. 2022;1(40):42–45. (In Russ.).
3. Lvovich Y.E., Preobrazhenskiy Yu.P., Ruzhitskiy E. Peculiarities of wireless communication systems optimization. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy = Bulletin of Voronezh Institute of High Technologies*. 2022;1(40):68–71. (In Russ.).
4. Lvovich, I.Ya., Lvovich, Ya.E., Frolov, V.N. *Information technologies of modeling and optimization: brief theory and applications*. Voronezh: IPC "Nauchnaya kniga"; 2016. 444 p. (In Russ.).
5. Inozemtsev S.A., Linkina A.V. Economic and social effect of digital transformation. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy = Bulletin of Voronezh Institute of High Technologies*. 2022;1(40):155–158. (In Russ.).
6. Lvovich Y.E., Preobrazhenskiy Y.P., Ruzhitskiy E. Analysis of signal reception and transmission features in computer networks. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy = Bulletin of Voronezh Institute of High Technologies*. 2022;1(40):75–78. (In Russ.).
7. Lvovich Y.E. *Multi-alternative optimization: theory and application*. Voronezh: Publishing house "Kvarta"; 2006. 415 p. (In Russ.).
8. Preobrazhenskiy Yu.P., Chuprinskaya Yu.L., Ruzhicky E. The problems of process control in computer systems. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy = Bulletin of Voronezh Institute of High Technologies*. 2022.1 (40).92-94. (In Russ.).
9. Lvovich Y.E., Preobrazhenskiy Y.P., Ruzhicky E. Analysis of control possibilities of "Internet of things" systems. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy = Bulletin of Voronezh Institute of High Technologies*. 2022;2(41):112–115. (In Russ.).
10. Batischev D.I., Lvovich Y.E., Frolov V.N. *Optimization in CAD*. Voronezh: Voronezh State University; 1997. 416 p. (In Russ.).
11. L'vovich Ya.E., L'vovich I.Ya. *Decision-Making in the Expert-Virtual Environment*. Voronezh: IPC "Nauchnaya kniga"; 2010. 140 p. (In Russ.).

12. Chuprinskaya Y.L., Linkina A.V. Brief overview of modern technological trends in the context of digital transformation. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy = Bulletin of Voronezh Institute of High Technologies*. 2022;1(40):107–109. (In Russ.).
13. Voronov A.A., Blinov R.A., Smirnov A.O., Ivanov P.T., Aleksandrov A.A. Application of system analysis methods to improve the efficiency of transport enterprises. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy = Bulletin of Voronezh Institute of High Technologies*. 2022;1(40):114–117. (In Russ.).
14. Preobrazhenskiy Yu.P., Azer K.M.V., Dzhumageldiev D. Some characteristics of computer networks. *Vestnik Voronezhskogo instituta vysokikh tekhnologiy = Bulletin of Voronezh Institute of High Technologies*. 2022;1(40):86–88.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Аветисян Татьяна Владимировна, старший преподаватель, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация.

e-mail: vtatyana.avetisyan@mail.ru

ORCID: [0000-0003-3559-6070](https://orcid.org/0000-0003-3559-6070)

Tatiana Vladimirovna Avetisyan, Senior Lecturer, Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russian Federation.

Львович Яков Евсеевич, доктор технических наук, профессор, Воронежский институт высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация.

e-mail: office@vvt.ru

ORCID: [0000-0002-7051-3763](https://orcid.org/0000-0002-7051-3763)

Yakov Evseevich Lvovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russian Federation.

Преображенский Андрей Петрович, доктор технических наук, профессор, президент Воронежского института высоких технологий, Воронеж, Российская Федерация.

e-mail: app@vvt.ru

ORCID: [0000-0002-6911-8053](https://orcid.org/0000-0002-6911-8053)

Andrey Petrovich Preobrazhenskiy, Doctor of Technical Sciences, Professor, President of Voronezh Institute of High Technologies, Voronezh, Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 07.10.2022; одобрена после рецензирования 10.02.2023; принята к публикации 03.03.2023.

The article was submitted 07.10.2022; approved after reviewing 10.02.2023; accepted for publication 03.03.2023.