

УДК 004.421:510.5

## СУБСИДИАРНЫЕ И ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЕ СИСТЕМЫ И АЛГОРИТМЫ

**Козлов Александр Вячеславович,**  
заместитель директора по общим вопросам,  
e-mail: av-kozlov@mail.ru,

Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), г. Москва, Россия

*Статья исследует субсидиарные и децентрализованные системы и алгоритмы. Рассмотрены иерархические системы как начальная точка исследований. В иерархических и субсидиарных системах существует главная подсистема – координатор действий. Субсидиарные системы формируются из иерархических под воздействием внешней среды. Их качественным отличием является появление взаимодействия на нижних уровнях и собственных ресурсов на нижних уровнях. В субсидиарных системах исполнительные механизмы иерархических систем преобразуются в агенты. Интенсификация внешних воздействий на систему приводит к ее децентрализации. В этих условиях субсидиарная система преобразуется в децентрализованную систему. Статья посвящена исследованию субсидиарных и децентрализованных систем. Показано сходство и различие между этими системами. Ключевой нитью проходит описание связи между алгоритмами поведения системы и самой системой. Статья вводит понятие системный алгоритм. Показано, что функции координатора в децентрализованной системе выполняет системный алгоритм.*  
**Ключевые слова:** субсидиарная система, децентрализованная система, алгоритм поведения, агент, системный алгоритм, информационное взаимодействие, коммуникация агентов, координатор

## SUBSIDIARY AND DECENTRALIZED SYSTEMS AND ALGORITHMS

**Kozlov A.V.,**  
deputy director on general issues,  
e-mail: av-kozlov@mail.ru,

Russian Technological University (RTU MIREA), Moscow, Russia

*The article explores the evolution of systems by the example of the relationship of hierarchical, subsidiary and decentralized systems. The article explores algorithms of the corresponding types. The relationship between the algorithm and system behavior is shown. Hierarchical systems are considered as the starting point of research. The article examines mainly subsidiary and decentralized systems. The article explores subsidiary and decentralized algorithms. Hierarchical and subsidiary systems are connected by the main subsystem - the coordinator of actions. Subsidiary systems are formed from hierarchical ones under the influence of the external environment. The external environment necessitates the interaction of elements of lower levels with the environment. Subsidiary systems characterize the interaction of elements with the environment at lower levels. Subsidiary systems characterize the allocation of individual resources to lower level elements. In subsidiary systems, the executive mechanisms of hierarchical systems are transformed into agents. The intensification of external influences on the subsidiary or on the hierarchical system leads to the decentralization of the system. Under these conditions, the subsidiary system is transformed into a decentralized system. The article is devoted to the study of subsidiary and decentralized systems. The similarities and differences between subsidiary and decentralized systems are shown. Decentralized system agents have the resources and computing power. Agents of decentralized systems form group intelligence. Decentralized systems are governed by an algorithm, not a coordinator. The article introduces the concept of a system algorithm that performs the functions of a coordinator in a decentralized system.*  
**Keywords:** subsidiary system, decentralized system, behavior algorithm, agent, system algorithm, information interaction, agent communication, coordinator

DOI 10.21777/2500-2112-2020-2-69-76

## Введение

Иерархия есть закономерность окружающего мира и она вытекает из вложенности объектов окружающего мира. Развитие человеческого общества, методов управления и вычисления используют принципы иерархии. Параллельно с развитием человеческого общества развивается мир организмов и живых систем. Одна из тенденций развития общества состоит в сближении законов развития общества и законов развития живой природы [1]. Для многих систем можно говорить об их характерном поведении. Это дает основание ввести понятие алгоритма поведения системы и связать систему с алгоритмом [2]. Первоначально на ранних стадиях развития человек упрощал законы живой природы и на этой основе строил свои законы развития и управления. Примером является жесткое детерминированное управление с отсутствием влияния стохастических факторов, что в природе встречается редко. В природе развитие происходит на основе многочисленных взаимодействий и при учете стохастических факторов. Субсидиарные системы [3, 4] описывают антропогенные системы и природные системы. Субсидиарность проявляется в частичной независимости и автономности элементов системы [5]. Она характеризует сложную систему и сложный процесс. Субсидиарность имеет разные приложения и направления развития. Первое направление субсидиарности связано с управлением [6]. Второе направление субсидиарности связано с самоорганизацией [7]. Третье направление субсидиарности связано с процессами вычислений. Четвертое направление субсидиарности связано с моделированием живых систем в неживых системах [8]. Пятое направление субсидиарности связано с развитием интеллектуальных систем [9]. Шестое направление применения субсидиарности связано с информационной безопасностью. Существуют и другие направления, но из этого краткого перечня видно значение субсидиарных систем.

## 1. Сравнение иерархических, субсидиарных и децентрализованных систем

Системы управления с иерархической структурой [10] применялись как основное направление среди классических методов управления [11]. Иерархическую систему (управления или вычисления) можно моделировать как сложную систему, состоящую из пространственно-распределенных подсистем, которые реализуют вышестоящие указания. Иерархическую систему можно представить как главную подсистему – координатор (К) и связанные с ним подсистемы, реализующие вышестоящие указания. На рисунке 1 приведена типовая иерархическая структура управления.

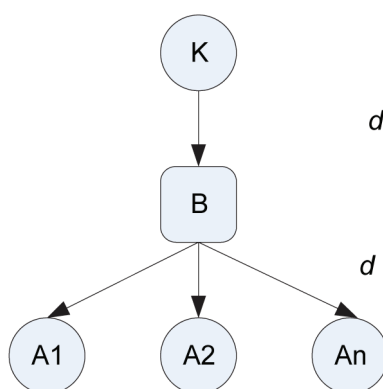


Рисунок 1 – Детерминированная модель иерархической системы

На рисунке 1 показана однонаправленность информационных потоков, которые выполняют управленческие функции «сверху – вниз». Символ К обозначает координатор, символ и блок В обозначают буферную подсистему, которая распределяет нисходящие потоки и обобщает восходящие потоки. Блоки A1, A2, ..., An обозначают либо исполнительные механизмы, либо подсистемы операционного

уровня. Для такой схемы управления или вычисления характерно воздействие вышестоящего уровня на нижестоящий. Нисходящие потоки представляют собой множество действий  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ . Иерархическая система состоит из уровней и управляющее действие осуществляется «сверху-вниз», что представляется выражением:

$$D(KB): K \rightarrow B. \quad (1)$$

Выражение (1) означает, что управленческое воздействие с уровня К передается на уровень В и является прямым директивным потоком или логическим следованием. В дальнейшем алгоритме поведения системы это воздействие через подсистему В передается на низшие уровни, что представляется выражением:

$$D(BA): (B \rightarrow A1) \vee (B \rightarrow A2) \vee \dots \vee (B \rightarrow An). \quad (2)$$

Выражение (2) означает распараллеливание потока на каждую подсистему. Эти потоки – прямые директивные потоки. Недостатком иерархических систем являются большие объемы отчетных потоков (OF), которые идут снизу вверх. Для координатора имеет место выражение:

$$(OF(A1) \wedge OF(A2) \wedge \dots \wedge OF(An)) \rightarrow B \rightarrow K. \quad (3)$$

Выражение (3) означает, что отчетные потоки загружают сначала блок В а затем, частично уменьшенные, поступают в координатор К. Выражения (1–3) описывают цикл управления или цикл вычисления. При большом числе операционных подсистем координатор может быть перегружен отчетной информацией и не будет справляться с управлением. В этом случае вводят дополнительные уровни, разгружающие координатора. Но дополнительные уровни увеличивают время воздействия.

В схеме на рисунке 1 управляющие потоки представлены как действие и в ней отсутствует воздействие внешней среды. В случае кратковременного воздействия внешней среды и необходимости ответного действия на низших уровнях, возникает субсидиарность. Субсидиарность может иметь разную степень в зависимости от объема полномочий [12], которые координатор делегирует на уровень А. Начальная фаза субсидиарности системы представлена на рисунке 2. В вычислительных процессах эта фаза проявляется при наличии цикла по условию. То есть, существуют фиксированные циклы по заданному числу повторений и существуют циклы по условию, например по достижению требуемой точности решения или обеспечения необходимой устойчивости системы или решения.

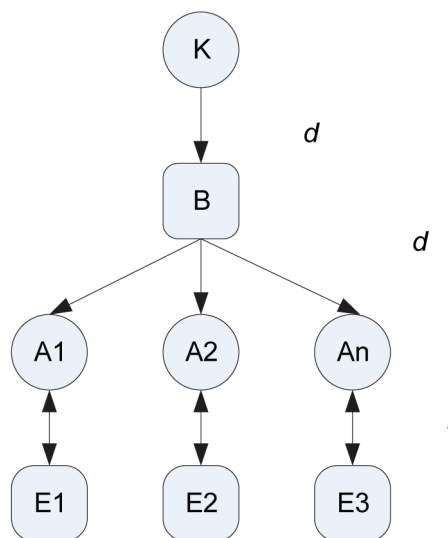


Рисунок 2 – Топологическая модель субсидиарной системы

Отличие схемы на рисунке 2 от схемы на рисунке 1 в том, что на систему оказывает воздействие внешняя среда в виде блоков (Е). В силу этого в схеме появляется еще одно отличие – взаимодей-

ствие (I). На рисунке 2 взаимодействие показано двойными стрелками. Это двухсторонний поток. В информационном поле это информационное взаимодействие. В физическом поле, например, при ведении боевых действий, это действия противника. В компьютерных системах блоки  $E$  могут обозначать вирусы и в совокупности вирусную атаку на компьютер или на информационную систему. Субсидиарность проявляется в самостоятельных ответных действиях подсистем  $A$  операционного уровня на объекты внешней среды  $E$ . Дополнительное отличие системы на рисунке 2 от системы на рисунке 1 в том, что для субсидиарных действий (противодействий) нужны дополнительные оперативные резервные ресурсы, которые координатор должен выделить заблаговременно. Поскольку операционные подсистемы обладают ресурсами и возможностью выбора действий, их можно рассматривать как агенты, а систему в целом как многоагентную систему. Агент можно рассматривать как логический элемент системы [13]. Таким образом, появление агентов, взаимодействий, собственных полномочий и ресурсов отличает субсидиарную систему и субсидиарный алгоритм поведения от иерархической системы.

Субсидиарность меняет структуру системы, но еще больше меняет ее поведение, то есть алгоритм. Проблема субсидиарности может быть выражена с применением известного метода множителей Лагранжа, применяемого для решения задач линейного программирования. Он заключается в нахождении условного экстремума функции  $f(x)$ , где  $x \in R^n$ , при наличии функции ограничений  $\phi_i(x)=0$ , где  $i$  меняется от единицы до  $m$ . Функцию Лагранжа  $L(x, \lambda)$  составляют в виде линейной комбинации функции  $f(x)$  и функций  $\phi(x)$ , взятых с коэффициентами  $\lambda$ , называемыми множителями Лагранжа:

$$L(x, \lambda) = f(x) + \sum \lambda_i \phi_i(x), i=1, \dots, m, \quad (4)$$

где  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_i, \lambda_m)$ .

В простейшем случае (при  $i=1$ ) выражение (4) записывают в виде:

$$L(x, \lambda) = f(x) + \lambda \phi(x). \quad (5)$$

Если полученная система имеет решение относительно параметров  $x'$  и  $\lambda'$ , то точка  $x'$  может быть условным экстремумом, то есть оптимальным решением задачи (5). Это условие носит необходимый, но не достаточный характер. В субсидиарных системах  $\phi_i(x)$  характеризует субсидиарность. При директивном управлении (рисунок 1)  $\phi_i(x)=0$ . в этом случае имеется глобальный максимум по функции  $f(x)$ . При централизованном управлении (рисунок 2)  $\phi_i(x) << f(x)$ . При субсидиарном управлении  $\phi_i(x) \approx f(x)$ , при децентрализованном управлении  $\phi_i(x) > f(x)$ . Процесс децентрализации сдвигает локальный максимум функции Лагранжа относительно глобального максимума. Это говорит о том, что субсидиарное и децентрализованное управление требует решения задачи оптимизации другими методами [14, 15]. В частности, возможно решение задачи дискретной оптимизации при большом числе  $m$  ограничений.

При повышении активности внешней среды начинается процесс перехода от субсидиарной системы к децентрализованной. На первом этапе происходит увеличение числа взаимодействий, включая связи с координатором. Такая система приведена на рисунке 3.

Децентрализация происходит в ситуации, в которой объекты внешней среды (на рисунке 3  $D = \{d_1, d_2, \dots, d_m\}$ ) увеличивают активность. В этом случае ресурсов оперативных систем (А) становится недостаточно, и возникают ситуации требующие вмешательства координатора. Характерной ситуацией является необходимость жертвования одним агентом, например А2, ради выживания других агентов. Такое решение или алгоритм принимает координатор. Возникает классическая задача оптимального распределения ресурсов при их недостаточности. Оперативные подразделения по восходящим потокам вынуждены обращаться к координатору за ресурсами и оптимальными решениями. Если на это требуется длительное время и координатор не справляется с подачей правильных решений, то система либо разрушается, либо из централизованной преобразуется в децентрализованную. Децентрализованная система, полученная преобразованием из системы на рисунке 3, приведена на рисунке 4. В этой системе преобладают взаимодействия, а координатор как физический объект, в большей части случаев исчезает и заменяется системным алгоритмом. На этом примере видно, что алгоритм поведения системы и эволюция системы тесно связаны. На уровне децентрализованной системы фактически алгоритм становится инструментом управления и объединения частей системы.

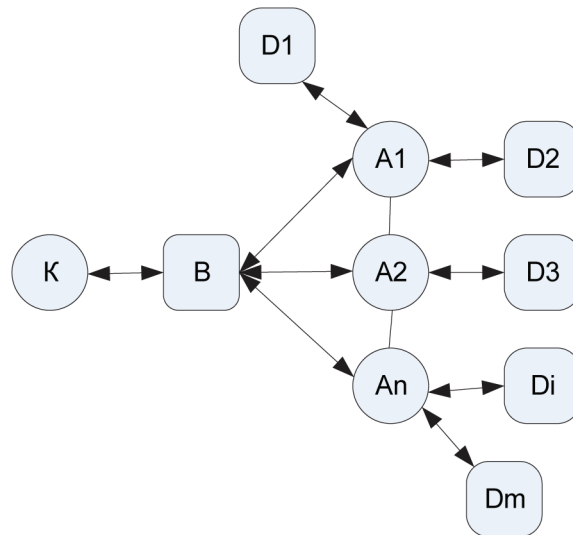


Рисунок 3 – Децентрализация субсидиарной системы

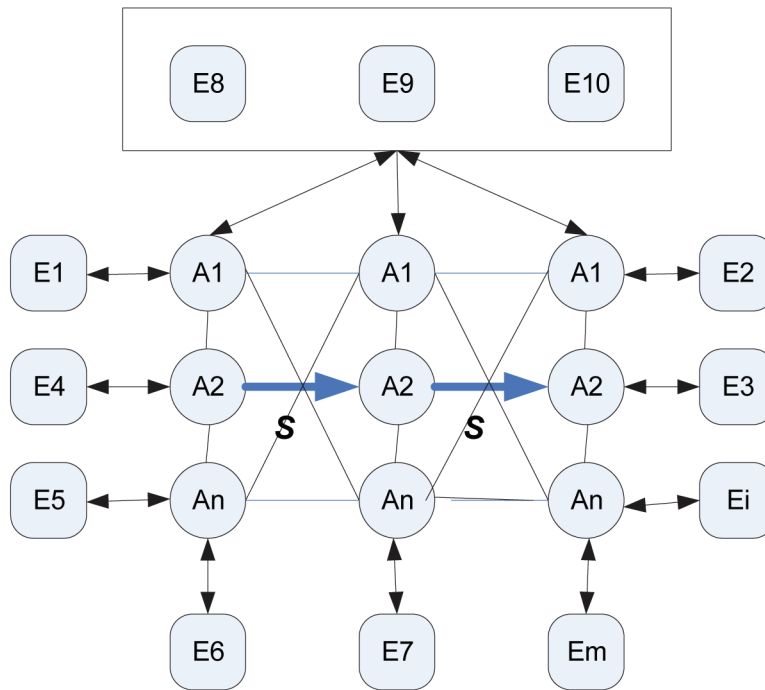


Рисунок 4 – Модель децентрализованной системы

На рисунке 4 координатор отсутствует. А – это множество агентов системы, Е – это множество объектов внешней среды или воздействий внешней среды. Элементы внешней среды (например, E8, E9, E10) могут объединяться и воздействовать на систему группой. Децентрализованная система является носителем системного интеллекта или системного алгоритма, который на рисунке 4 обозначен символом S. Децентрализованные системы представляют собой совокупность агентов, объединенных внутренними связями и действующих с использованием собственных ресурсов, групповой коммуникации и двух алгоритмов поведения индивидуального и группового. Групповая коммуникация между агентами без обращения к координатору является отличием децентрализованной системы от субсидиарной. Коммуникации в децентрализованных системах бывают трех типов: информационные, координационные (управленческие), ресурсные. В децентрализованной системе агенты могут делегировать свои ресурсы исходя из задач системы.



## 2. Децентрализованный алгоритм поведения агентов системы

Децентрализованная система (ДС) является системой с распределенными процессами принятия решений на уровне агентов и с саморегулирующимся механизмом, организующим взаимодействие между отдельными процессами принятия решений на оперативном и общесистемном уровне [16, 17]. Децентрализованный алгоритм позволяет отдельным агентам ДС оптимизировать свое поведение в зависимости от альтернативных действий внешней среды [18, 19]. Сравнение индивидуальных и групповых (общесистемных) интересов представляет содержание децентрализованного алгоритма поведения агентов системы. Агенты определяют, насколько важны их собственные цели по сравнению с целями системы, используя локальный фактор интереса ( $bl$ ). Большое значение данного фактора ( $bl$ ) определяет агент как эгоистичный. Такой агент ставит высокий приоритет на свои индивидуальные цели и игнорирует требования к сотрудничеству и к общесистемным интересам.

Анализ решения проблемы отношения локальных и системных целей основан на проектировании снизу вверх. Он достаточно адекватно имитирует реальные проблемы управления ДС по сравнению с методами оптимизации «сверху вниз» в централизованных системах. В централизованных системах (рисунок 1, 2) предполагается, что агенты будут полностью выполнять любые рекомендации, которые дает координатор. В децентрализованных системах предполагается, что агенты будут выполнять системные рекомендации только с учетом оперативной обстановки и могут вносить коррективы в системные установки. В децентрализованных системах отсутствует понятие координатора как физической подсистемы. Его функции выполняет координационный или стратегический алгоритм.

Структурно децентрализованная система рисунок 4 похожа на структуру искусственной нейронной сети, что вполне закономерно. Децентрализованная система это в сущности алгоритм или интеллект, который руководит элементами (агентами) системы.

Для децентрализованных систем существует понятие роевого интеллекта. Системы роевого интеллекта, как правило, состоят из множества агентов локально взаимодействующих между собой и с окружающей средой. Идеи поведения ДС, как правило, исходят от природы, а в особенности, от биологических систем. Каждый агент следует очень простым правилам и, несмотря на то, что нет какой-то централизованной системы управления поведением, которая бы указывала каждому из них на то, что ему следует делать, локальные и, в некоторой степени, случайные взаимодействия приводят к возникновению интеллектуального группового поведения, неконтролируемого отдельными агентами. Точное определение роевого интеллекта всё еще не сформулировано. В целом, ДС представляют собой многоагентную систему, которая обладает самоорганизующимся поведением, которое суммарно моделирует некоторое разумное поведение.

Для оптимизации поведения ДС или алгоритмов применяют различные методы. Одним из таких является модифицированный децентрализованный метод на основе штрафов [20]. В этом методе каждый агент имеет свою собственную среду принятия решений, которая отражает локальную динамику и ограничения, связанные с этой динамикой. Метод получает оптимальное решение для агентов с коммуникационной схемой, в которой агент оптимизирует свою цель с выбранным приоритетом для коалиции и отправляет решение всем другим агентам, с которыми он взаимодействует. Все агенты делают это одновременно, и их решения оцениваются вместе «центральным процессором», из которого информация, такая как степень нарушения ограничений, доступна всем агентам для следующего цикла действий. Метод основан на взаимодействии, которое позволяет агентам иметь дело с ограничениями, которые навязывают внешние объекты. Метод использует двухэтапный подход: сначала поиск решения, основанного на выборе всех отдельных агентов и допускающего нарушение коллективного поведения, а затем попытка уменьшить нарушение ограничений на уровне системы. Это следует за процедурами решения проблем снизу вверх, в которых отдельные агенты принимают решения и взаимодействуют с другими агентами, а затем координатор разрешает конфликты, уравнивая решения разных агентов.

### Заключение

В процессе эволюции живых и технических систем, а также в алгоритмах их поведения, прослеживается цепочка: иерархия – субсидиарность – децентрализованность. Иерархические системы и ал-

горитмы строят по принципу «сверху вниз» и в них, в основном, присутствуют воздействия и односторонние потоки. В субсидиарных системах и алгоритмах появляется информационное взаимодействие на нижнем операционном уровне, которое дополняет односторонние потоки. Субсидиарные системы ближе к иерархическим, поскольку в них существует главная подсистема координатор. В децентрализованных системах и алгоритмах преобладает взаимодействие, которое строится с использованием двух алгоритмов системного и индивидуального. Децентрализованные системы и алгоритмы строят по принципу «снизу – вверх». Особенностью децентрализованных систем является дискретность. В силу этого для них не применимы методы непрерывной оптимизации, а применимы методы дискретной оптимизации. В иерархических системах на нижнем уровне преобладают исполнительные механизмы. В субсидиарных и децентрализованных системах на нижнем уровне функционируют только агенты, принимающие решения и осуществляющие действия. В субсидиарных и децентрализованных алгоритмах на нижнем уровне функционируют только вычислители – агенты. Агенты обладают самостоятельными полномочиями и своими ресурсами. Степень самостоятельности агента растет при переходе от субсидиарной системы к децентрализованной системе. В иерархических и субсидиарных системах или алгоритмах присутствует координатор, который управляет стратегией системы или стратегией вычислений. В децентрализованных системах часто, а в децентрализованных алгоритмах всегда физического координатора заменяет координационный или стратегический алгоритм. Высокий уровень адаптации и настройки таких систем дает основание говорить о децентрализованном интеллекте или о роевом интеллекте. Применение роевых принципов в робототехнике называют групповой робототехникой, в то время как понятие «роевой интеллект» относится к общему набору алгоритмов. «Роевое прогнозирование» применяется в решении некоторых задач прогнозирования. В целом теория субсидиарных и децентрализованных систем требует дальнейшего развития и исследования.

#### Список литературы

1. Цветков В.Я., Козлов А.В. Использование моделей живых организмов для анализа эволюции сложных организационно технических систем // Образовательные ресурсы и технологии. – 2019. – № 4 (29). – С. 68–76.
2. Мусеев Н.Н. Алгоритмы развития. – М.: Наука, 1987. – 304 с. (Переиздана в 2017 г. издательством Litres.)
3. Козлов А.В. Субсидиарные системы как эволюция сложных систем // ИТНОУ: Информационные технологии в науке, образовании и управлении. – 2019. – № 3 (13). – С. 59–66.
4. Логинова А.С. Оценка применимости субсидиарного управления // Актуальные проблемы современной науки. – 2015. – № 3. – С. 297–301.
5. Цветков В.Я. Применение принципа субсидиарности в информационной экономике // Финансовый бизнес. – 2012. – № 6. – С. 40–43.
6. Логинова А.С. Методы субсидиарного управления // Перспективы науки и управления. – 2015. – №3. – С. 165–169.
7. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Законы эволюции и самоорганизации сложных систем. – М.: Наука, 1994. – 236 с.
8. Коган А.Б. Биологическая кибернетика / Коган А.Б. [и др.]. – М.: Высшая школа. – 1972.
9. Tsvetkov V.Ya. Intelligent control technology. // Russian Journal of Sociology. – 2015. – №2 (2). – pp. 97–104.
10. Месарович М., Мако Д., Такахара Н. Теория иерархических многоуровневых систем / Пер. с англ. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
11. Цветков В.Я. Развитие технологий управления // Государственный советник. – 2015. – № 4(12). – С. 5–10.
12. Цветков В.Я., Козлов А.В. Принципы субсидиарного управления // Государственный советник. – 2018. – № 4(24). – С. 20–28.
13. Tsvetkov V.Ya. Logic units of information systems // European Journal of Natural History. – 2009. – № 2. – pp. 99–100.
14. Lan G., Lee S., Zhou Y. Communication-efficient algorithms for decentralized and stochastic optimization // Mathematical Programming. – 2018. – pp. 1–48.

15. *Seaman K.* Optimal algorithms for smooth and strongly convex distributed optimization in networks // Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning-Volume 70. – JMLR. org, 2017. – p. 3027–3036.
16. *Pankratev D.A., Samsonov A.A., Stotckaia A.D.* Wireless Data Transfer Technologies in a Decentralized System // 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIconRus). – IEEE, 2019. – p. 620–623.
17. *Guo S.* Towards Byzantine-resilient Learning in Decentralized Systems // arXiv preprint arXiv:2002.08569. – 2020.
18. *Hendriks H., Bach F., Massoulié L.* An accelerated decentralized stochastic proximal algorithm for finite sums // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2019. – pp. 952–962.
19. *Etancelin J.M.* DACYCLEM: A decentralized algorithm for maximizing coverage and lifetime in a mobile wireless sensor network // Ad Hoc Networks. – 2019. – T. 87. – pp. 174–187.
20. *Yang Y.C.E., Cai X., Stipanović D.M.* A decentralized optimization algorithm for multiagent system-based watershed management // Water resources research. – 2009. – Vol. 45. – №. 8. doi:10.1029/2008WR007634.

### References

1. *Cvetkov V.Ya., Kozlov A.V.* Ispol'zovanie modelej zhivyh organizmov dlya analiza evolyucii slozhnyh organizacionno tekhnicheskikh sistem // Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii. – 2019. – №4 (29). – S. 68–76.
2. *Moiseev N.N.* Algoritmy razvitiya. – M.: Nauka, 1987. – 304 s. (Pereizdana v 2017 g. izdatel'stvom Litres).
3. *Kozlov A.V.* Subsidiarnye sistemy kak evolyuciya slozhnyh sistem // ITNOU: Informacionnye tekhnologii v nauke, obrazovanii i upravlenii. – 2019. – № 3 (13). – S. 59–66.
4. *Loginova A.S.* Ocenka primenimosti subsidiarnogo upravleniya // Aktual'nye problemy sovremennoj nauki. – 2015. – № 3. – S. 297–301.
5. *Cvetkov V.Ya.* Primenenie principa subsidiarnosti v informacionnoj ekonomike // Finansovyy biznes. – 2012. – № 6. – S. 40–43.
6. *Loginova A.S.* Metody subsidiarnogo upravleniya // Perspektivy nauki i upravleniya. – 2015. – № 3. – S. 165–169.
7. *Knyazeva E.N., Kurdyumov S.P.* Zakony evolyucii i samoorganizacii slozhnyh sistem. – M.: Nauka, 1994. – 236 c.
8. *Kogan A.B.* Biologicheskaya kibernetika. – M.: Vysshaya shkola. – 1972.
9. *Tsvetkov V.Ya.* Intelligent control technology. // Russian Journal of Sociology. – 2015. – № 2 (2). – rr. 97–104.
10. *Mesarovich M., Mako D., Takahara N.* Teoriya ierarhicheskikh mnogo-urovnevnyh sistem / Per. s angl. – M.: Mir, 1973. – 344 s.
11. *Cvetkov V.Ya.* Razvitie tekhnologij upravleniya // Gosudarstvennyj sovetnik. – 2015. – № 4(12). – S. 5–10.
12. *Cvetkov V.Ya., Kozlov A.V.* Principy subsidiarnogo upravleniya // Gosudarstvennyj sovetnik. – 2018. – № 4(24). – S. 20–28.
13. *Tsvetkov V.Ya.* Logic units of information systems // European Journal of Natural History. – 2009. – № 2. – pr. 99–100.
14. *Lan G., Lee S., Zhou Y.* Communication-efficient algorithms for decentralized and stochastic optimization // Mathematical Programming. – 2018. – rr. 1–48.
15. *Seaman K.* Optimal algorithms for smooth and strongly convex distributed optimization in networks // Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning-Volume 70. – JMLR. org, 2017. – r. 3027–3036.
16. *Pankratev D.A., Samsonov A.A., Stotckaia A.D.* Wireless Data Transfer Technologies in a Decentralized System // 2019 IEEE Conference of Russian Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering (EIconRus). – IEEE, 2019. – r. 620–623.
17. *Guo S.* Towards Byzantine-resilient Learning in Decentralized Systems // arXiv preprint arXiv:2002.08569. – 2020.
18. *Hendriks H., Bach F., Massoulié L.* An accelerated decentralized stochastic proximal algorithm for finite sums // Advances in Neural Information Processing Systems. – 2019. – rr. 952–962.
19. *Etancelin J.M. et al.* DACYCLEM: A decentralized algorithm for maximizing coverage and lifetime in a mobile wireless sensor network // Ad Hoc Networks. – 2019. – T. 87. – rr. 174–187.
20. *Yang Y.C.E., Cai X., Stipanović D.M.* A decentralized optimization algorithm for multiagent system-based watershed management // Water resources research. – 2009. – Vol. 45. – №. 8. doi:10.1029/2008WR007634.