

УДК 519.17: 504.06

DOI: 10.15593/2224-9397/2020.4.13

Т.В. Киселева¹, В.Г. Михайлов², А.А. Ивушкин¹, Г.С. Михайлов²¹Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия²Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева,
Кемерово, Россия

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОРИЕНТИРОВАННЫХ ГРАФОВ В ПРОЦЕССАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГО- ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

Управление эколого-экономической деятельностью в современных условиях играет важную роль в обеспечении эффективного функционирования как отдельных промышленных предприятий, так и региона в целом. Такая ситуация требует поиска не только направлений совершенствования организационно-экономического механизма управления природоохранной деятельностью, но и его отдельных инструментов, адаптированных к особенностям конкретного объекта управления. В качестве данного инструмента можно применять ориентированные графы, позволяющие создавать имитационные модели различных экологических и эколого-экономических процессов и систем. Вершины орграфа могут быть использованы для хранения необходимой информации об объектах исследования, например, о локальном уровне достижения экологической или эколого-экономической безопасности. **Цель исследования:** провести анализ эффективных способов использования ориентированных графов в управлении эколого-экономической деятельностью и адаптировать имеющиеся разработки к процессам обеспечения эколого-экономической безопасности промышленных предприятий и региона. **Результаты:** проведен анализ известных организационно-технологических решений в области управления системами разного уровня с использованием ориентированных графов. Разработаны графы возможных стратегий достижения требуемого уровня экологической безопасности региона с учетом соблюдения интересов предприятий-природопользователей и обеспечения устойчивого социо-эколого-экономического развития территории. Определена оптимальная траектория движения, обеспечивающая необходимый уровень эколого-экономической безопасности с учетом минимальных затрат на ее достижение. Отличие используемого подхода заключается в построении ориентированного графа с учетом особенностей исследуемой эколого-экономической системы, а также вида работ, необходимых для достижения заданного уровня эколого-экономической безопасности и их стоимостной оценки. **Практическая значимость:** предложенный механизм управления рассмотренными эколого-экономическими системами (регион – промышленные предприятия) рекомендуется для использования управляющими структурами региона и руководством предприятий, оказывающих существенное негативное воздействие на окружающую среду. Полученные результаты целесообразно использовать при разработке стратегий устойчивого развития территорий, предприятий и их объединений (кластеры, холдинги, финансово-промышленные группы и другие формы интеграции).

Ключевые слова: управление, ориентированный граф, эколого-экономическая деятельность, эколого-экономическая система, эколого-экономическая безопасность, организационно-экономический механизм, природоохранная деятельность, предприятие.

T.V. Kiseleva¹, V.G. Mikhailov², A.A. Ivushkin¹, G.S. Mikhailov²

¹Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russian Federation

²Kuzbass State Technical University named after T.F.Gorbachev,
Kemerovo, Russian Federation

THE USE OF DIRECTED GRAPHS IN THE MANAGEMENT PROCESSES OF ECO-ECONOMIC ACTIVITIES

Management of eco-economic activities under modern conditions plays an important role in ensuring the effective functioning of both individual industrial enterprises and the region as a whole. This situation requires a search not only for ways to improve the organizational and economic mechanism of environmental management, but also its individual tools, adapted to the features of a specific management object. Directed graphs can be considered as such a tool, which allow creating simulation models of various environmental and eco-economic processes and systems. The vertices of an orgraph can be used to store the necessary information about the objects of study, for example, about the local rate of environmental or eco-economic security. **Purpose of the study:** to analyze efficient ways of using directed graphs in the management of eco-economic activities and to adapt existing developments to the processes of ensuring eco-economic safety of industrial enterprises and a region. **Results:** the analysis of known organizational and technological solutions in the field of control of systems of different levels using directed graphs was carried out. Graphs of possible strategies for achieving the required environmental safety rate in the region have been developed, taking into account the interests of enterprises-users of natural resources and ensuring sustainable socio-ecological and economic development of the territorial entity. The optimal trajectory of movement has been determined, which ensures the required eco-economic safety rate, taking into account the minimum costs for its achievement. The difference between the approach used lies in the construction of a directed graph, taking into account the features of the investigated ecological and economic system, as well as the type of work required to achieve a given level of environmental and economic security and their cost estimate. **Practical significance:** the proposed mechanism for the considered eco-economic systems (region - industrial enterprises) management is recommended for its application by the management structures of the region and the management of enterprises that have a significant negative impact on the environment. It is advisable to use the obtained results when developing strategies for sustainable development of territorial entities, enterprises and their associations (clusters, holdings, financial and industrial groups and other integration forms).

Keywords: management, directed graph, eco-economic activity, eco-economic system, eco-economic security, system, business mechanism, environmental protection, enterprise.

Введение. Процессы управления эколого-экономической деятельностью приобретают в современных условиях первостепенное значение в связи с процессом реформирования экологического законодательства, необходимостью совершенствования организационно-экономического механизма управления природоохранной деятельностью и поиска инновационных инструментов прогнозирования и управления.

Одним из таких инструментов являются разнообразные графы [1]. При этом с помощью ориентированных графов можно не только отображать структуру взаимодействия в сложной системе, но и производить

оценку возможного изменения или поведения системы в целом, создавая модели динамического характера [2].

Дискретные модели в виде взвешенных графов являются универсальными и широко применяются как при описании технических, так и для анализа более сложных и неопределенных систем, например, для разработки экономических, социальных программ и управленческих решений.

Целью данной работы являются анализ известных теоретических исследований области использования ориентированных графов в управлении социально-экономическими и эколого-экономическими системами разного уровня [3–5] и разработка графа возможных (с выделением оптимальной) стратегий достижения требуемого уровня эколого-экономической безопасности региона.

1. Основные теоретические результаты. В работе [6] отмечается, что для решения задач управления могут использоваться эвристические алгоритмы [7], которые в большинстве случаев обеспечивают достижение требуемого результата. Одна из таких возможных задач – распределение ресурсов.

Для распределения ресурсов можно использовать способ, учитывающий степень критичности операций, где сначала оценивается продолжительность операций, равная $\tau_i = W_i / b_i$. После этого просчитывается сетевой график с конечного периода, задается требуемая продолжительность проекта T и определяется максимальное прогнозное значение периода начала работ (критичность). Данный способ имеет важное значение в связи с приоритетом критических работ, которые реализуются на финальных стадиях проекта или связаны с наиболее трудоемкими операциями. На рис. 1 представлен древовидный сетевой график с заданными ограничениями реализуемых операций (фиксированная интенсивность использования единицы ресурса и одинаковые продолжительности τ).

В представленном графике минимальный уровень критичности работ соотносится с максимальным рангом соответствующей вершины (соблюдается равенство ранга вершины и числа вершин пути, соединяющего данную вершину с конечной). Из рис. 2 видно, что при $N = 2$ пунктирной линией обозначено множество работ, выполняемых одновременно, при этом «внешние» цифры (римские) отражают очередность выполнения этапов работ, расположенных «снаружи, а римские цифры показывают очередность их выполнения».

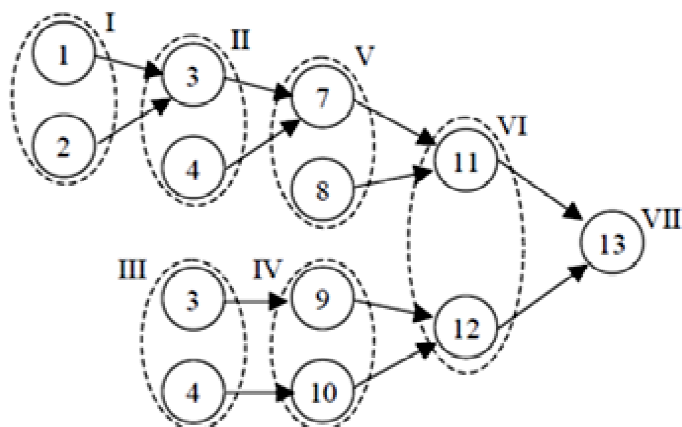


Рис. 1. Древоподобный сетевой график

Анализ информационных процессов, которые имеют большое значение в эколого-экономической деятельности, также можно осуществлять с помощью теории графов. Авторы [8] рассматривают информацию в виде «исходные данные – промежуточные результаты – окончательные результаты – функциональные результаты».

Информационная основа представленной системы включает совокупность исходных данных и окончательных результатов. Отдельные элементы информационного потока обозначаются через $x_i (i = 1, 2, \dots, n)$, которым соответствуют вершины графа x_1, x_2, \dots, x_n , и каждая пара вершин x_i и x_j соединяется дугой, направленной от x_i к x_j в случае, когда элемент x_i соответствует входу элемента x_j , дополненного вершинами H_j , определяющими номенклатуру решаемых задач.

По мнению исследователей, [8] граф, при котором отсутствуют дуги, выходящие из H_j , можно определить как «расширенный информационный граф», для которого на рис. 2 установлены отношения вхождения и порядка.

Авторы исследования отмечают, что теория графов позволяет проводить исследование потоков эколого-экономической информации и решать другие актуальные задачи.

Другое назначение ориентированных графов – моделирование эколого-экономических систем [9]. На рис. 3. представлена такая модель, где в вершинах орграфа находятся отдельные элементы эколого-экономической системы, а по дугам происходит движение техногенных потоков вещества.

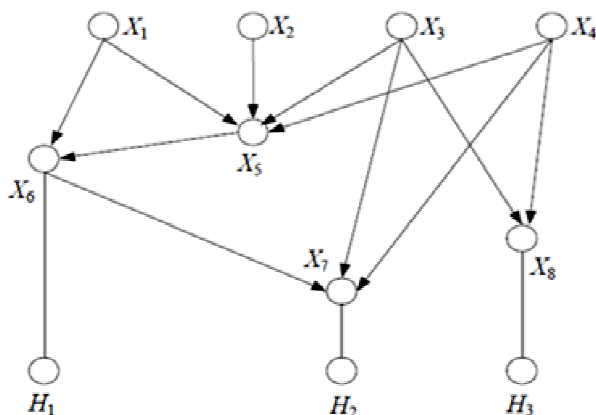


Рис. 2. Расширенный информационный граф

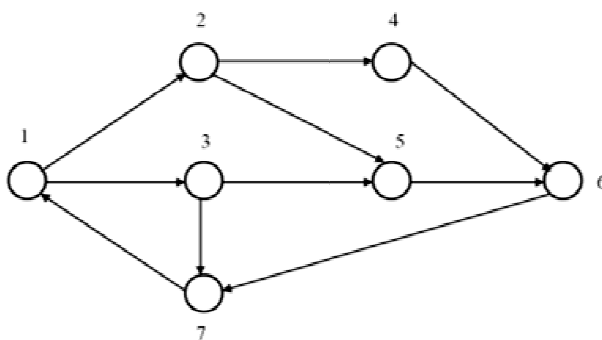


Рис. 3. Пример орграфа эколого-экономической системы

Вершина «1» на рис. 3 означает биосферу; «2» и «3» – добывающие предприятия; «4» и «5» – предприятия, производящие конечный продукт; «6» – сфера потребления; «7» – предприятие, осуществляющее все виды обращения с отходами.

Представленная модель используется для определения рационального пути достижения требуемых характеристик эколого-экономической системы, в качестве одной из которых может быть минимизация произведенных отходов производства и потребления.

В исследованиях авторов [10] теория ориентированных графов применена для прогнозирования экологической емкости территории на примере такого субъекта Федерации, как Адыгея. Главным результатом выполненной работы является получение прямых и обратных связей между определяющими факторами и количественных данных о реакции эколого-экономических систем на их возмущающие воздействия (рис. 4).

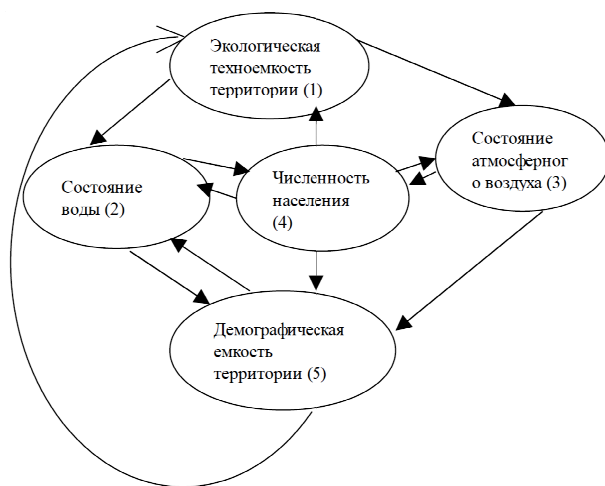


Рис. 4. Орграф для изучения экологической емкости территории

Из рис. 4 видно, что вершины орграфа заданы пятью ключевыми параметрами эколого-экономической системы. Дуги орграфа показывают влияние изменения одного показателя на изменение другого, а полученная модель отражает воздействие одной вершины на другую. Данная модель позволяет эффективно управлять эколого-экономической системой с определением экологической емкости территории и оптимизацией основных характеристик (величина валового внутреннего продукта, объем образования отходов производства и потребления, степень износа основных производственных фондов природоохранного назначения и другие).

В работе [11] представлен практический пример использования знакового орграфа, построенный на данных социо-эколого-экономической системы, территориально расположенной в районе строительства крупного гидротехнического сооружения, и включающий вершины «окружающая среда», «строительство», «сельское хозяйство», «население», «заболеваемость», «качество воздуха», «качество воды» и «шум». Этот же автор отмечает, что моделирование с помощью орграфов социально-экономического и экологического состояния многокомпонентной системы позволяет прогнозировать и оценивать ее динамические характеристики.

Несмотря на сложности определения количественных характеристик взаимного влияния отдельных элементов эколого-экономических

систем при использовании теории ориентированных графов [11], данный инструмент показывает свою эффективность при решении эколого-экономических задач разного уровня, так как позволяет определить оптимальное направление достижения требуемых численных характеристик (минимальное количество используемых ресурсов; оптимальная вероятность реализации эколого-экономических рисков; целесообразный уровень использования основных фондов природоохранного назначения и т.д.) экологического и социального мониторинга.

2. Основные практические результаты. Одно из главных направлений повышения эффективности управления эколого-экономической деятельностью связано с обеспечением контроля за системой управления эколого-экономической безопасностью [12–15], где важное значение имеет предоставление достоверных отчетных данных промышленными предприятиями.

В результате можно сформулировать основные задачи, решение которых позволит повысить региональный уровень эколого-экономической безопасности [3, 16–22]:

- определение стратегии (вектора развития) повышения регионального уровня эколого-экономической безопасности;
- определение нормативных уровней эколого-экономической безопасности для предприятий-природопользователей, расположенных в регионе;
- определение системы санкций, мотивирующих предприятия к предоставлению достоверной информации о состоянии системы управления эколого-экономической безопасностью.

Задача определения стратегии повышения регионального уровня эколого-экономической безопасности заключается в ее оценке, соответствующей цели создания системы управления эколого-экономической безопасностью региона в сложившихся социо-эколого-экономических условиях (степень техногенного воздействия предприятий, уровень заболеваемости населения, величина валового регионального продукта и т.д.). Начальный уровень эколого-экономической безопасности региона принимается равным 0 ($X_0 = 0$), а требуемый или конечный $X_{\text{треб}} = 1$. Промежуточные уровни эколого-экономической безопасности ($X_1 = 0,25$; $X_2 = 0,5$; $X_3 = 0,75$; $X_4 = 1,0$) задаются с учетом конкретных требований к системе управления эколого-экономической безопасностью предприятий (количественные или качественные пока-

затели снижения негативного воздействия на окружающую среду и другие). Если регион ставит задачу обеспечения выхода на требуемый уровень эколого-экономической безопасности ($X\tau = 1,0$) за τ периодов времени (лет), где τ принимается равным 4, то региональной стратегией обеспечения требуемого уровня эколого-экономической безопасности является вектор $X = \{X_1, X_2, X_3, X_4\}$, где X_j определяет региональный уровень эколого-экономической безопасности, планируемый к реализации к окончанию j -го периода. Примем условие, что региональный уровень эколого-экономической безопасности, достигнутый на каждом заявленном временном интервале, не уменьшается, т.е. $0 \leq X_1 \leq X_2 \leq X_3 \leq X_4 = 1$. Затраты на достижение и поддержание в период τ уровня X_j , если в предыдущем периоде был достигнут уровень X_{j-1} , можно обозначить как $X_{j-1,j}^\tau$. Величина природоохранных затрат, необходимая для обеспечения требуемого уровня эколого-экономической безопасности, определяется на основе официальных и внутренних отчетов предприятий, экспертных оценок и другой информации. Требуется решить задачу определения стратегии X , обеспечивающей к концу расчетного периода $X = 4$ уровень эколого-экономической безопасности $X\tau = X_4 = 1,0$ с минимальными затратами.

С целью решения данной задачи требуется построение ориентированного графа [1] возможных стратегий (рис. 5).

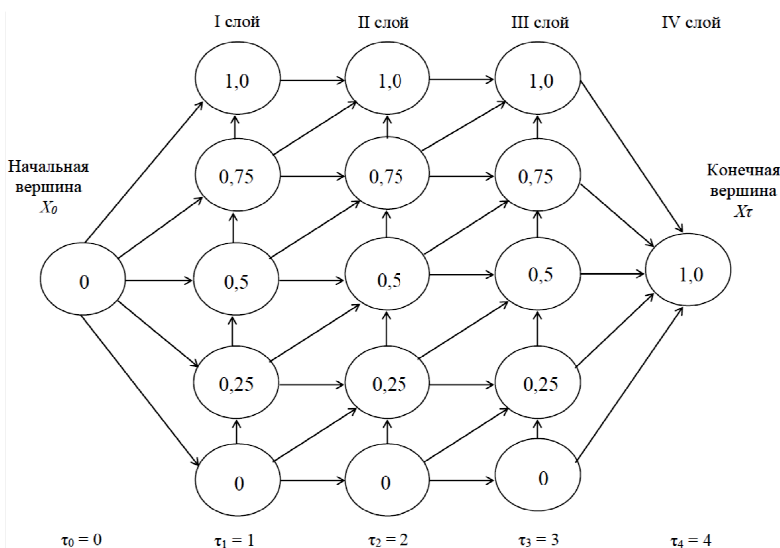


Рис. 5. Граф возможных стратегий повышения уровня эколого-экономической безопасности

Начальная вершина орграфа соответствует началу первого года. Слой I характеризует возможные варианты стратегии к концу первого периода:

- оставление базового уровня эколого-экономической безопасности региона $X_0 = 0$;
- увеличение уровня эколого-экономической безопасности до значений соответственно: $X_1 = 0,25$; $X_2 = 0,5$ или $X_3 = 0,75$;
- увеличение уровня эколого-экономической безопасности до конечного требуемого значения $X_4 = 1,0$.

Слои II и III показывают аналогичные стратегии соответственно к концу второго и третьего периода, а слой IV, отдельно не обозначенный на рис. 5, содержит только конечную вершину со значением $X_4 = 1,0$ и показывает, что к концу четвертого периода требуется обеспечить заданный уровень эколого-экономической безопасности.

Путь в ориентированном графе, соединяющий начальную вершину с конечной, соответствует определенной стратегии повышения уровня эколого-экономической безопасности, например, переход природоохранных систем на принципы наилучших доступных технологий (НДТ) в соответствии с законодательно установленными сроками.

Для выделения пути орграфа целесообразно обозначение j -й вершины i -го слоя через (ij) . В этом случае одним из возможных вариантов реализации стратегии повышения уровня эколого-экономической безопасности является «пропорциональное» достижение итогового показателя на каждом временном интервале, когда в первом периоде значение уровня эколого-экономической безопасности составляет 0,25; во втором периоде – 0,5; в третьем периоде – 0,75; достигая требуемого значения в конечной точке $X_4 = 1,0$. В практической деятельности это означает наличие у предприятия ресурсов, необходимых для достижения итогового показателя нарастающим итогом. На рис. 6 представлен фрагмент ориентированного графа, отражающий путь реализации данной стратегии.

Фрагмент графа, представленный на рис. 6, обозначается как $[X_0; (1; 1); (2; 2); (3; 3); X_4]$.

Из рис. 5 и 6 видно, что орграф потенциальных стратегий позволяет решить задачу выбора оптимальной стратегии достижения требуемого уровня эколого-экономической безопасности по различным критериям (минимизация количества временных интервалов, исполь-

зуемых ресурсов, трудоемкости, в том числе затрат на создание и поддержание уровня эколого-экономической безопасности в подразделениях предприятий и т.д.). В этом случае в качестве длины дуги $[(X, j - 1); (X + 1, j)]$ принимаются затраты $X_{j-1,j}^t$ на создание и поддержание в периоде X системы управления эколого-экономической безопасностью, обеспечивающие требуемый уровень, равный X_j при условии, что в начале периода X он был равен X_{j-1} . Исходя из этого, длина любого пути, соединяющего начальную вершину с конечной, будет равна затратам на создание и поддержание уровня эколого-экономической безопасности при стратегии, соответствующей этому пути. Таким образом, данная задача заключается в определении минимального пути в ориентированном графе возможных стратегий.

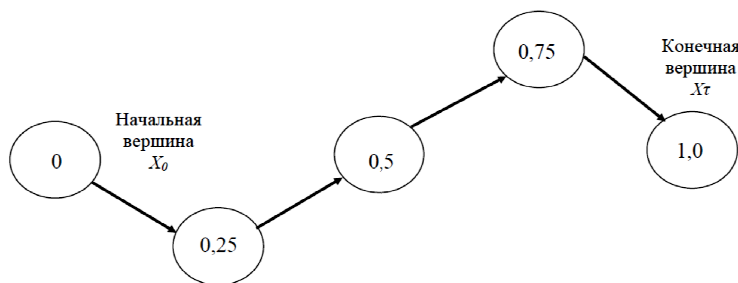


Рис. 6. Фрагмент графа оптимальной стратегии повышения уровня эколого-экономической безопасности региона

На рис. 7 показан пример решения задачи, где числа в круглых скобках у дуг равны их длине, а числа в квадратных скобках у вершин соответствуют длине кратчайшего пути из начальной вершины в данную вершину. Стратегия, представленная на рис. 7 $[X_0; (1; 1); (2; 2); (3; 3); X_t]$, выделена жирными линиями.

На основании проведенных расчетов можно сделать вывод, что при решении задачи минимизации затрат на создание системы управления эколого-экономической безопасностью за 4 года, что обусловлено периодом реализации реформ в национальном экологическом законодательстве, одновременно получено решение задачи для всех $t \leq 4$. На основании результатов расчета, приведенных на рис. 7, видно, что достижение уровня эколого-экономической безопасности за 3 периода требует 40 условных единиц, за 2 периода – 45 условных единиц, за 1 период – 75 условных единиц.

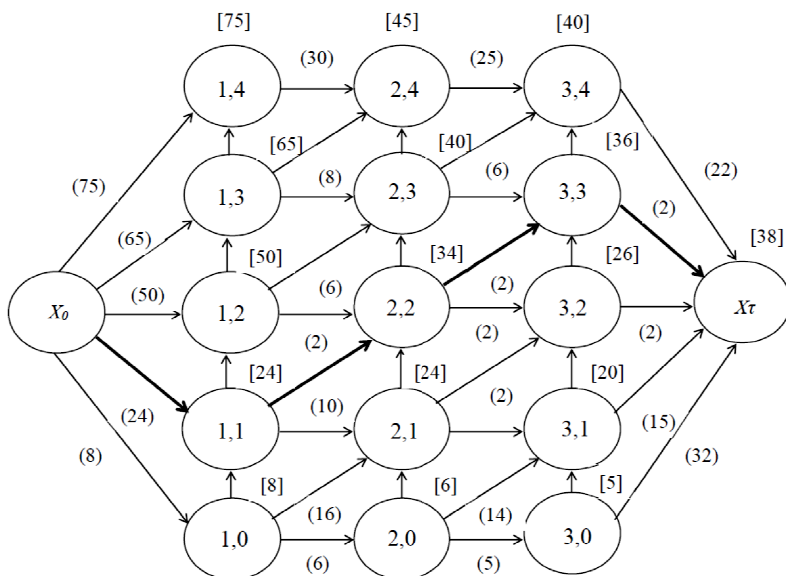


Рис. 7. Пример расчета возможных стратегий на основе ориентированного графа

Эффективность используемого подхода с применением ориентированных графов может быть оценена с помощью стоимости каждого вида или этапа работ, необходимого для достижения требуемого итогового значения. При этом одна условная единица ресурса принималась в размере 100 млн рублей. Выбор наиболее эффективного сценария включает условие о несущественности затрат времени, необходимых для реализации конкретного пути достижения. В таких условиях критерием эффективности является минимум необходимых затрат.

В таблице представлен пример апробации использования ориентированных графов в разрезе отдельных видов работ с точки зрения минимизации используемых ресурсов, выраженных в стоимостной форме.

Из таблицы видно, что наиболее «ресурсозатратным» этапом или видом работ является модернизация технологических процессов на принципах наилучших доступных технологий. При этом достижение итогового уровня экологической безопасности за 3 периода требует минимального количества ресурсов (4 млрд руб.), что существенно ниже, чем использование двух (4,5 млрд руб.) или одного (7,5 млрд руб.) периода. Значения стоимости отдельных видов работ были получены на основании фактических данных крупнейших предприятий Кемеровской области – Кузбасса и с помощью экспертных оценок.

**Пример апробации использования ориентированных графов
для достижения заданного уровня эколого-экономической безопасности**

Сценарий достижения итогового уровня экологической безопасности (количество периодов)	1	2	3
Вид работ и их стоимостная оценка, млн руб.			
Модернизация технологических процессов на принципах НДТ	5250	3150	2800
Сертификация технологических процессов по стандартам ISO-14001	375	225	200
Совершенствование организационной структуры управления природо- охранной деятельностью предприятия	750	450	400
Совершенствование регионального экологического законодательства	375	225	200
Прочие виды работ	750	450	400
Итого	7500	4500	4000

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

- проведен анализ известных исследований в области теоретических разработок и практического применения ориентированных графов, который показал актуальность и эффективность использования данного инструмента на реальных объектах;
- определены специфические характеристики ориентированных графов, используемых для решения эколого-экономических задач;
- построен ориентированный граф возможных стратегий достижения требуемого уровня эколого-экономической безопасности региона;
- построен ориентированный граф расчета возможных стратегий достижения требуемого уровня эколого-экономической безопасности региона, в вершинах которого отображены значения затрат ресурсов для конкретного временного интервала;
- проведена апробация использования ориентированного графа для достижения заданного уровня эколого-экономической безопасности для конкретной эколого-экономической системы с обоснованием минимального количества требуемых затрат;
- использование рассмотренного инструмента – ориентированного графа имеет практическое значение для процесса управления реальными социально-экономическими и эколого-экономическими системами.

Библиографический список

1. Бурков В.Н., Заложнев А.Ю., Новиков Д.А. Теория графов в управлении организационными системами: учеб. пособие. – М.: Изд-во ИПУ РАН, 2001. – 124 с.

2. Подлевских М.Н. Использование ориентированных графов в математических моделях экологических и биологических систем // Вестник Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета. Сер. № 2. Физико-математические и естественные науки. – 2017. – № 1. – С. 47–55.

3. Бурков В.Н., Новиков Д.А., Щепкин А.В. Механизмы управления эколого-экономическими системами. – М.: Физико-математическая литература, 2008. – 244 с.

4. Бурков В.Н., Новиков Д.А., Щепкин А.В. Модели и механизмы управления эколого-экономическими системами // Проблемы управления. – 2009. – № 1. – С. 2–7.

5. Киселева Т.В., Михайлов В.Г. Оценка основных подходов к определению состояния эколого-экономических систем // Вестник Томск. гос. пед. ун-та. – 2007. – № 9. – С. 31–32.

6. Эвристические алгоритмы распределения ресурсов / В.И. Алферов, В.Н. Бурков, А.Е. Кравцов [и др.] // Вестник Воронеж. гос. техн. ун-та. – 2009. – Т. 5. – № 12. – С. 176–179.

7. Баркалов С.А., Курочка П.Н. Эвристические алгоритмы моделей стимулирования // ФЭС: финансы, экономика. – 2019. – Т. 16. – № 6. – С. 9–13.

8. Хорольский В.Я., Гальвас А.В. Использование теории графов в сложных информационных процессах // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. – 2007. – № 4. – С. 10–12.

9. Нужина И.П., Юдахина О.Б. Концептуальная модель региональной эколого-экономической системы // Вестник Томск. гос. ун-та. Экономика. – 2008. – № 1. – С. 54–67.

10. Жемадукова С.Р. Экологическая ёмкость территории и прогнозирование поведения эколого-экономической системы с помощью орграфов (на примере Республики Адыгея) // Новые технологии. – 2008. – № 6. – С. 58–61.

11. Бестужева А.С., Волкова А.В. Прогнозирование последствий крупного гидротехнического строительства на основе орграфов социально-экономических систем // Вестник МГСУ. – 2010. – № 4–2. – С. 374–381.

12. Рогачев А.Ф., Шеченко А.А., Кузьмин В.А. Оценивание эколого-экономической безопасности промышленных предприятий методами нечеткой логики // Труды СПИИРАН. – 2013. – № 7. – С. 77–87.

13. Avdeev V.P., Kiseleva T.V., Burkov V.N. Multivariant active systems // Automation and Remote Control. – 2001. – Т. 62. – No. 10. – P. 1645–1650. DOI: 10.1023/A:1012410432131

14. Киселева Т.В., Михайлов В.Г., Михайлова Я.С. Формирование региональной системы управления эколого-экономической безопасностью // Научные технологии разработки и использования минеральных ресурсов. – 2020. – № 6. – С. 403–409.

15. Новиков Д.А. Механизмы снижения ожидаемого ущерба в эколого-экономических системах // Системы управления и информационные технологии. – 2008. – № 1. – С. 20–24.

16. Модель комплексной оценки уровня безопасности / С.А. Баркалов, А.М. Котенко, А.И. Половинкина [и др.] // Вестник Воронеж. гос. техн. ун-та. – 2005. – Т. 1. – № 7. – С. 28–33.

17. Дружинин П.В., Шкиперова Г.Л. Эколого-экономические модели и прогнозы в системе регионального управления // Проблемы прогнозирования. – 2012. – № 1. – С. 88–98.

18. Burkov V.N., Burkova I.V. Network programming technique in project management problems // Automation and Remote Control. – 2012. – Vol. 73. – No. 7. – P. 1242–1250. DOI: 10.1134/S0005117912070132

19. Burkov V.N., Isakov M.B., Korgin N.A. On strategy-proof direct mechanism of active expertise over strictly convex compact set // Automation and Remote Control. – 2010. – Vol. 71. – No. 10. – P. 2168–2175. DOI: 10.1134/S0005117910100188

20. Incentive systems in project management / S.A. Barkalov, V.N. Burkov, N.Yu. Kalinina, T.V. Nasonova // Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics. – 2018. – Vol. 18. – No. 4. – P. 152–159. DOI: 10.14529/ctcr180415

21. Mathematical and algorithmic foundations of resource allocation upon parallel development / S.A. Barkalov, O. Kravets, P.N. Kurochka, T.V. Nasonova, A.I. Polovinkina // International Journal of Pure and Applied Mathematics. – 2017. – Vol. 117. – No. 9. – P. 83–87. DOI: 10.12732/ijpam.v117i9.15

22. Mikhailov V.G., Mikhailov G.S., Koryakov A.G. Ecological risk management in coal mining and processing // Journal of Mining Science. – 2015. – Vol. 51. – No. 5. – P. 930–936. DOI: 10.1134/S1062739115050101

References

1. Burkov V.N., Zalozhnev A.Iu., Novikov D.A. Teoriia grafov v upravlenii organizatsionnymi si
2. temami [Graph theory in organizational systems management: a study guide]. Moscow: Institut problem upravleniia imeni V.A. Trapeznikova Rossiiskoi akademii nauk, 2001, 124 p.
3. Podlevskikh M.N. Ispol'zovanie orientirovannykh grafov v matematicheskikh modeliakh ekologicheskikh i biologicheskikh sistem [Using an oriented graphs in mathematical models of environmental and biological systems]. *Vestnik Permskogo gosudarstvennogo gumanitarno-pedagogicheskogo universiteta. Seriya № 2. Fiziko-matematicheskie i estestvennye nauki*, 2017, no. 1, pp. 47-55.
4. Burkov V.N., Novikov D.A., Shchepkin A.V. Mekhanizmy upravleniia ekologo-ekonomicheskimi sistemami [Management mechanisms for eco-economic systems]. Moscow: Fiziko-matematicheskaia literatura, 2008, 244 p.
5. Burkov V.N., Novikov D.A., Shchepkin A.V. Modeli i mekhanizmy upravleniia ekologo-ekonomicheskimi sistemami [Models and mechanisms for ecological-economic systems management]. *Problemy upravleniia*, 2009, no. 1, pp. 2-7.
6. Kiseleva T.V., Mikhailov V.G. Otsenka osnovnykh podkhodov k opredeleniiu sostoianiia ekologo-ekonomicheskikh sistem [The estimation of the basic approaches to definition of a condition of ecological-economic systems]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta*, 2007, no. 9, pp. 31-32.
7. Alferov V.I., Burkov V.N., Kravtsov A.E. et al. Evristicheskie algoritmy raspredeleniia resursov [Heuristic algorithms of distribution of resources]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2009, vol. 5, no. 12, pp. 176-179.
8. Barkalov S.A., Kurochka P.N. Evristicheskie algoritmy modelei stimulirovaniia [Heuristic algorithms of models stimulation]. *FES: finansy, ekonomika*, 2019, vol. 16, no. 6, pp. 9-13.
9. Khorol'skii V.Ia., Gal'vas A.V. Ispol'zovanie teorii grafov v slozhnykh informatsionnykh protsessakh [Using graph theory in complex information processes]. *Izvestiia vysshikh uchebnykh zavedenii. Severo-Kavkazskii region. Tekhnicheskie nauki*, 2007, no. 4, pp. 10-12.

10. Nuzhina I.P., Iudakhina O.B. Kontseptual'naia model' regional'noi ekologo-ekonomicheskoi sistemy [Conceptual model of the regional ecological-and-economic system]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika*, 2008, no. 1, pp. 54-67.

11. Zhemadukova S.R. Ekologicheskaiia emkost' territorii i prognozirovanie povedeniia ekologo-ekonomicheskoi sistemy s pomoshch'iu orgrafov (na primere Respubliki Adygeia) [The ecological capacity of the territorial entity and forecasting the behavior of the eco-economic system using orgraphs (on the example of the Republic of Adygea)]. *Novye tekhnologii*, 2008, no. 6, pp. 58-61.

12. Bestuzheva A.S., Volkova A.V. Prognozirovanie posledstviu krupnogo gidrotekhnicheskogo stroitel'stva na osnove orgrafov sotsial'no-ekonomicheskikh sistem [Forecasting the consequences of large-scale hydraulic engineering construction based on orgraphs of socio-economic systems]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta*, 2010, no. 4-2, pp. 374-381.

13. Rogachev A.F., Shechenko A.A., Kuz'min V.A. Otsenivanie ekologo-ekonomicheskoi bezopasnosti promyshlennykh predpriatii metodami nechetkoi logiki [Assessment of ecological and economic security of industrial enterprises by methods of fuzzy logic]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo instituta informatiki i avtomatizatsii Rossiiskoi akademii nauk*, 2013, no. 7, pp. 77-87.

14. Avdeev V.P., Kiseleva T.V., Burkov V.N. Multivariant active systems. *Automation and Remote Control*, 2001, vol. 62, no. 10, pp. 1645-1650. DOI: 10.1023/A:1012410432131

15. Kiseleva T.V., Mikhailov V.G., Mikhailova Ia.S. Formirovanie regional'noi sistemy upravleniia ekologo-ekonomicheskoi bezopasnost'iu [Development of a regional eco-economic safety management system]. *Naukoemkie tekhnologii razrabotki i ispol'zovaniia mineral'nykh resursov*, 2020, no. 6, pp. 403-409.

16. Novikov D.A. Mekhanizmy snizheniia ozhidaemogo ushcherba v ekologo-ekonomicheskikh sistemakh [Mechanisms of the expected damage control in ecology-economical systems]. *Sistemy upravleniia i informatsionnye tekhnologii*, 2008, no. 1, pp. 20-24.

17. Barkalov S.A., Kotenko A.M., Polovinkina A.I. et al. Model' kompleksnoi otsenki urovnia bezopasnosti [Model of the complex estimation of the level of safety]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2005, vol. 1, no. 7, pp. 28-33.

18. Druzhinin P.V., Shkiperova G.L. Ekologo-ekonomicheskie modeli i prognozy v sisteme regional'nogo upravleniia [Ecological and economic models and predictions in the regional management system]. *Problemy prognozirovaniia*, 2012, no. 1, pp. 88-98.

19. Burkov V.N., Burkova I.V. Network programming technique in project management problems. *Automation and Remote Control*, 2012, vol. 73, no. 7, pp. 1242-1250. DOI: 10.1134/S0005117912070132

20. Burkov V.N., Isakov M.B., Korgin N.A. On strategy-proof direct mechanism of active expertise over strictly convex compact set. *Automation and Remote Control*, 2010, vol. 71, no. 10, pp. 2168-2175. DOI: 10.1134/S0005117910100188

21. Barkalov S.A., Burkov V.N., Kalinina N.Yu., Nasonova T.V. Incentive systems in project management. *Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2018, vol. 18, no. 4, pp. 152-159. DOI: 10.14529/ctcr180415

22. Barkalov S.A., Kravets O., Kurochka P.N., Nasonova T.V., Polovinkina A.I. Mathematical and algorithmic foundations of resource allocation upon parallel development. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 2017, vol. 117, no. 9, pp. 8-87. DOI: 10.12732/ijpam.v117i9.15

23. Mikhailov V.G., Mikhailov G.S., Koryakov A.G. Ecological risk management in coal mining and processing. *Journal of Mining Science*, 2015, vol. 51, no. 5, pp. 930-936. DOI: 10.1134/S1062739115050101

Сведения об авторах

Киселева Тамара Васильевна (Новокузнецк, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Прикладные информационные технологии и программирование» Сибирского государственного индустриального университета (654007, Новокузнецк, ул. Кирова, 42, e-mail: kis@siu.sibsiu.ru).

Михайлов Владимир Геннадьевич (Кемерово, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Производственный менеджмент» Кузбасского государственного технического университета имени Т.Ф. Горбачева (650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28, e-mail: mvg.eohp@kuzstu.ru).

Ивушкин Анатолий Алексеевич (Новокузнецк, Россия) – доктор технических наук, профессор, профессор-консультант кафедры «Автоматизация и информационные системы» Сибирского государственного индустриального университета (654007, Новокузнецк, ул. Кирова, 42, e-mail: office@sshs.ru).

Михайлов Геннадий Сергеевич (Кемерово, Россия) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Энергоресурсосберегающие процессы в химической и нефтегазовой технологиях» Кузбасского государственного технического университета им. Т.Ф. Горбачева (650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28, e-mail: mgs.kuzgtu@yandex.ru).

About the authors

Kiseleva Tamara Vasilyevna (Novokuznetsk, Russian Federation) is a Doctor of Technical Sciences, Professor Department of applied information technologies and programming Siberian State Industrial University (654007, Novokuznetsk, 42, Kirova ave., e-mail: kis@siu.sibsiu.ru).

Mikhailov Vladimir Gennadyevich (Kemerovo, Russian Federation) is a Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor Department of industrial management Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev (650000, Kemerovo, 28, Vesnnyaya ave., e-mail: mvg.eohp@kuzstu.ru).

Ivushkin Anatoly Alekseyevich (Novokuznetsk, Russian Federation) is a Doctor of Technical Sciences, Consulting Professor Department of automation and information systems Siberian State Industrial University (654007, Novokuznetsk, Kirova ave., 42, e-mail: kis@siu.sibsiu.ru).

Mikhailov Gennady Sergeyeovich (Kemerovo, Russian Federation) is a Ph. D. in Technical Sciences, Associate Professor Department of energy and resource saving processes in chemical and oil and gas technologies Kuzbass State Technical University named after T.F. Gorbachev (650000, Kemerovo, Vesnnyaya ave., 28, e-mail: mgs.kuzgtu@yandex.ru).

Получено 07.10.2020