

УДК 622.33.004.89 (470) © Е.А. Матвеева, С.Г. Симагина, М.Д. Филимонов, О.Н. Черных✉, П.Ю. Миронов, 2026

UDC 622.33.004.89 (470) © E.A. Matveeva, S.G. Simagina, M.D. Filimonov, O.N. Chernykh✉, P.Yu. Mironov, 2026

ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», 443010, г. Самара, Россия
✉ e-mail: o.chernyh@psuti.ru

Volga State University of Telecommunications and Informatics, Samara, 443010, Russian Federation
✉ e-mail: o.chernyh@psuti.ru

Кортежное моделирование как основа создания цифрового двойника предприятия угольного машиностроения

Tuple modeling as the basis for creating a digital twin of a coal mining machine manufacturing company

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2026-2-53-56>

В статье рассматриваются вопросы создания цифрового двойника предприятия угольного машиностроения на основе кортежного моделирования. На основе проведенного анализа выявлены проблемы, характерные для машиностроительных предприятий угольной промышленности. Показано, что цифровой двойник, основанный на кортежной модели, позволяет понять, как изменения одних параметров системы влияют на другие параметры.

Для создания цифрового двойника деятельность предприятия разделена на модули: рыночная стратегия, организация производственных процессов, развитие системы управления и экономическая эффективность. В статье подробно рассматривается модуль рыночной стратегии, в частности работа с поставщиками.

Ключевые слова: цифровой двойник, кортежное моделирование, угольное машиностроение, рыночная стратегия, принятие решений.

Для цитирования: Кортежное моделирование как основа создания цифрового двойника предприятия угольного машиностроения / Е.А. Матвеева, С.Г. Симагина, М.Д. Филимонов и др. // Уголь. 2026;(2):53-56. 2DOI: 10.18796/0041-5790-2026-2-53-56.

Abstract

The article discusses creation of a digital twin of a coal mining machine manufacturing enterprise based on tuple modeling. The analysis reveals challenges specific to machine manufacturing companies in the coal industry. It is shown that a digital twin based on a tuple model makes it possible to understand how changes in some system parameters affect other parameters. In order to create a digital twin, the company's activities are divided into the following modules: market strategy, organization of production processes, development of the management system, and economic efficiency. The article discusses the market strategy module in detail, in particular, dealing with suppliers.

МАТВЕЕВА Е.А.

Канд. техн. наук, доцент кафедры Прикладной информатики ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», 443010, г. Самара, Россия

СИМАГИНА С.Г.

Доктор экон. наук, профессор кафедры Прикладной информатики ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», 443010, г. Самара, Россия

ФИЛИМОНОВ М.Д.

Аспирант кафедры Прикладной информатики ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», 443010, г. Самара, Россия

ЧЕРНЫХ О.Н.

Канд. экон. наук, доцент кафедры Прикладной информатики ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики», 443010, г. Самара, Россия,
e-mail: o.chernyh@psuti.ru

МИРОНОВ П.Ю.

Аспирант кафедры

Прикладной информатики

ФГБОУ ВО «Поволжский

государственный университет

телекоммуникаций и информатики»,

443010, г. Самара, Россия

Keywords*Digital twin, tuple modeling, coal mining, market strategy, decision making.***For citation**Matveeva E.A., Simagina S.G., Filimonov M.D., Chernykh O.N., Mironov P.Yu. Tuple modeling as the basis for creating a digital twin of a coal mining machine manufacturing company. *Ugol'*. 2026;(2):53-56. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2026-2-53-56.**ВВЕДЕНИЕ**

Управление производством машиностроительных предприятий, к которым в том числе относятся предприятия угольного машиностроения, представляет собой систему выработки и принятия решений на основе информации, получаемой от структурных подразделений. Анализ деятельности предприятий тяжелого машиностроения показал, что основными проблемами являются не только технологии производства, нехватка квалифицированных кадров, но и действующие системы управления [1, 2, 3, 4]. Эти проблемы характерны и для предприятий угольной промышленности, при этом особо отмечаются: мелкосерийность и единичное производство, высокая себестоимость, высокий износ производственных мощностей и недостаточный технологический уровень производства.

Для минимизации негативных воздействий выявленных причин на управление производством необходимо рассмотреть их влияние на производственную систему. Для этого целесообразно применять моделирование системы, что позволит создать цифровой двойник предприятия. Довольно популярными являются кортежные модели, позволяющие рассматривать систему с точки зрения учета взаимосвязей разнородных факторов, определяющих целостность системы. Цифровой двойник, основанный на кортежной модели, позволяет понять, как изменения одних параметров системы влияют на другие параметры, и минимизировать риски при принятии решений [5, 6, 7, 8, 9].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Кортежное моделирование позволяет прогнозировать деятельность предприятия как на стратегическом, так и на оперативном уровне. На стратегическом уровне важно прогнозировать работу с поставщиками и иметь возможность анализа и моделирования различных ситуаций при выборе поставщиков комплектующих.

Рассматривая деятельность предприятия в целом, учитывая выявленную специфику, можно определить четыре базовые модели, входящие в макромоделю M предприятия угольного машиностроения:

$$M = M_1 \cup M_2 \cup M_3 \cup M_4$$

где M_1 – модель рыночной стратегии деятельности предприятия; M_2 – модель организации производственных процессов; M_3 – модель развития системы управления; M_4 – модель показателей эффективности.

Каждую базовую модель целесообразно представить в виде кортежной модели, включив в нее проблемы, задачи, методологию и методы решения проблем и информацию, необходимую для решения выявленных проблем:

$$M_l = \{Q_l, P_{lm}, S_{lmk}, FM_l, N_{lm}, J_{lmk}\},$$

где Q_l – сущность проблемы; P_{lm} – декомпозированное представление проблем M_l ; S_{lmk} – функционал выделенных проблем P_{lm} ;

FM_l – методология, используемая для решения проблемы M_i ; N_{lm} – методы, используемые для решения декомпозированных проблем P_{lm} и функциональных задач S_{lmk} ; J_{lmk} – информация, необходимая для нахождения решения проблем P_{lm} и задач S_{lmk} методами N_{lm} . Индекс m соответствует признаку вычленения структур проблемы P_{lm} , индекс k – признаку определения функциональных свойств составляющих.

Подробно рассмотрим модель рыночной стратегии деятельности предприятия. Все машиностроительные предприятия, в том числе угольной промышленности, работают с поставщиками и потребителями. Что касается предприятий угольного машиностроения, то следует отметить следующие ключевые проблемы в этой области взаимодействия: неразвитость рынка ключевых комплектующих, отсутствие производства отдельных видов высокотехнологичных комплектующих и низкая доля российских производителей. Эти составляющие учитываются в базовой модели M_1 .

Модель M_1 – отражает производство с учетом его специфики и изменений во внешней среде. Сущностью Q_1 являются специфические особенности угольного машиностроения с учетом изменений внешней среды. Проводя декомпозицию Q_1 , структурируем: P_{11} – изменения моделей выпускаемой продукции отражающей требования рынка, что непосредственно влияет на изменение стратегии и согласования ее с оперативной деятельностью; P_{12} – согласование деятельности предприятия с поставщиками, поставляющими комплектующие изделия; P_{13} – организация взаимоувязки маркетинга, производства и сбыта готовой продукции.

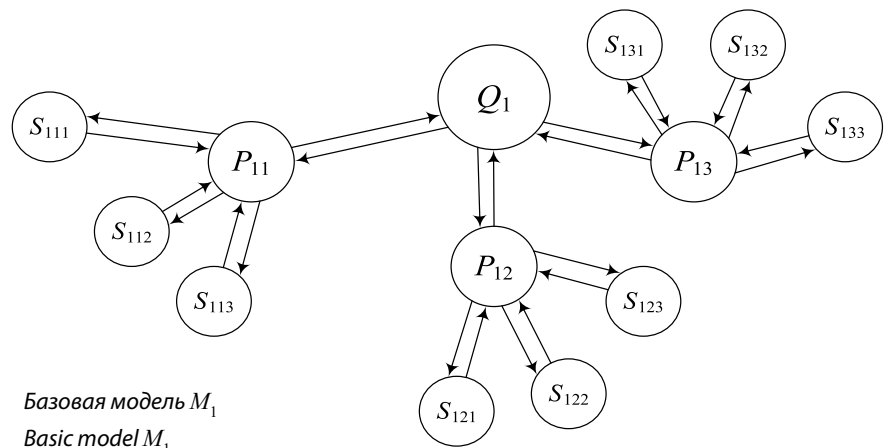
$$Q_1 = UP_{1m}, m = 1...3, P_{1m} = P_{11} \cup P_{12} \cup P_{13}..$$

В модель включены планы предприятия различного уровня: S_{111} – стратегические планы; S_{112} – операционные планы; S_{113} – планы подразделений. А также составляющие, необходимые для рациональной организации производственной деятельности: S_{114} – определение новых задач планирования в соответствии с изменениями внешней среды, изменением технологий производства и цифровизацией предприятия; S_{121} – структуризация номенклатуры изделий, исходных материалов и комплектующих; S_{122} – разработка технологии производства; S_{123} – загрузка оборудования по технологическим процессам и рабочим местам; S_{131} – определение времени выполнения заказов; S_{132} – формирование заданий на производство продукции; S_{133} – определение сроков оплаты и отгрузки готовой продукции.

$$P_{11} \cup S_{11k}, k = 1...4,$$

$$P_{12} \cup S_{12k}, P_{13} \cup S_{13k}, k = 1...3.$$

Базовая модель M_1 представлена на рисунке.



Базовая модель M_1
Basic model M_1

В разработанной кортежной модели в качестве основного методологического средства FM_1 для решения проблем P_{1m} применяется концепция системы сбалансированных показателей [10, 11, 12, 13, 14]. Для решения задач P_{1m} и S_{1mk} определенных моделью предлагается использовать методы: N_{11} – стратегического управления и планирования; N_{12} – исследования операций; N_{13} – диагностики и идентификации. Необходимая информация J_{1mk} , используемая для построения структур P_{1m} , S_{1mk} предоставляется в виде следующих данных: J_{111} – плановые данные; J_{112} – объемы выпускаемой продукции; J_{113} – производственные задания по плановым периодам; J_{114} – изменения внешней и внутренней среды; J_{121} – плановые показатели по номенклатуре и объему; J_{122} – имеющееся оборудование, основные и резервные технологии, технологические операции; J_{123} – маршруты партий по рабочим местам и логистические цепочки; J_{131} – временные горизонты оперативного планирования; J_{132} – мощности и ресурсы, имеющиеся в наличии; J_{133} – составляющие материальных затрат.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате имеем модель рыночной стратегии деятельности предприятия, в которой рассматриваются во взаимосвязи следующие параметры, входящие в структуру P_{13} : управление номенклатурой и ценой; ускорение реагирования на запросы рынка. Данная модель составляет основу цифрового двойника модуля рыночной стратегии, в частности работы с поставщиками. Ее апробация на ряде предприятий тяжелого машиностроения показала, что взаимосвязь и взаимодействие параметров, входящих в структуру P_{13} , позволили увеличить объем продаж на 18-22%, увеличить прибыль на 15-26%, повысить конкурентоспособность предприятия.

Список литературы • References

1. Машиностроение: ключевые тренды 2024 года / И.С. Лола (рук. авт. кол.), Д.Г. Асосков, А.Д. Рахимова, Н.А. Усов; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». М.: НИУ ВШЭ, 2025. 23 с.
2. Antonova N.A., Blagoveshchenskii D.I., Kozlovskii V.N., Vasin S.A. Tools for Monitoring Customer Satisfaction with Vehicle Quality. *Russian Engineering Research*. 2023;43(2):199-202.

3. Breakthrough Technologies 2023. Text: electronic. MIT Technology Review. URL: <https://www.technologyreview.com/2023/01/09/1066394/10-breakthrough-technologies-2023/> (accessed 15.01.2026).
4. Дилигенский Н.В., Матвеева Е.А. Концептуальная модель управления мелкосерийным машиностроительным производством в современных условиях / Материалы Международной научно-технической конференции «Информационные, измерительные и управляющие системы (ИИУС-2010)». Самара: СГТУ, 2010. С. 286-290.
5. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. М.: Мир, 1973. 344 с.
6. Antonova N.A., Blagoveshchenskii D.I., Kozlovskii V.N., Vasin S.A. Key Components of Brand Image Regarding Automobile Quality and Service. *Russian Engineering Research*. 2023;43(2):206-207.
7. Chiarini A., Belvedere V., Grando A. Industry 4.0 strategies and technological developments. An exploratory research from Italian manufacturing companies. *Production Planning & Control*. 2020; 31(16):1385-1398.
8. Титов П.М., Берг Д.Б. Короткие модели структуры и поведения целостной экономической системы. VI – Всероссийская интернет-конференция по проблемам экономифизики и эволюционной экономики, 2010.
9. Негойце К. Применение теории систем к проблемам управления. М.: Мир, 1981. 180 с.
10. Матвеева Е.А., Симагина С.Г. Разработка модели системы материального стимулирования рабочих производственного предприятия // Отходы и ресурсы. 2019. Т. 6. № 1. Matveeva E.A., Simagina S.G. Development of a model of the system of material incentives for workers of an industrial enterprise. *Othody i resursy*. 2019;6(1). (In Russ.).
11. Царев М.В., Андреев Ю.С. Цифровые двойники в промышленности: История развития, классификация, технологии, сценарии использования. <https://cyberleninka.ru/article/n/tsifrovye-dvoyniki-v-promyshlennosti-istoriya-razvitiya-klassifikatsiya-tehnologii-tsenarii-ispolzovaniya?ysclid=male8f1cm11274476>.
12. Жарасов Б.С., Абрамов В.И. Цифровые двойники в управлении производством: принципы создания, проблемы внедрения и перспективы развития // Современная экономика: проблемы и решения. 2024. № 6. Zharasov B.S., Abramov V.I. Digital twins in production management: creation principles, implementation problems and Development prospects. *Sovremennaya ekonomika: problemy i resheniya*. 2024;(6). (In Russ.).
13. Внедрение цифровых двойников как одно из ключевых направлений цифровизации производства / Н.В. Курганова, М.А. Филин, Д.С. Черняев и др. // International Journal of Open Information Technologies. 2019. № 5. Kurganova N.V., Filin M.A., Chernyaev D.S., Shaklein A.G., Namiot D.E. Digital twins' introduction as one of the major directions of industrial digitalization. *International Journal of Open Information Technologies* 2019, (5). (In Russ.).
14. Simagina S., Yuskaeva D., Evstafieva V. Modeling of the business process of workers' remuneration as an integral part of a balanced scorecard-ITM. Web Conf. II International Workshop "Hybrid Methods of Modeling and Optimization in Complex Systems" (HMMOCS-II 2023). 2024, Vol. 59. https://www.itm-conferences.org/articles/itmconf/abs/2024/02/itmconf_hmmocs2023_01021/itmconf_hmmocs2023_01021.html.

Authors Information

Matveeva E.A. – PhD (Engineering), Associate Professor of the Department of Applied Informatics, Volga State University of Telecommunications and Informatics, Samara, 443010, Russian Federation, e-mail: o.chernyh@psuti.ru

Simagina S.G. – Doctor of Economic Sciences, Professor of the Department of Applied Informatics, Volga State University of Telecommunications and Informatics, Samara, 443010, Russian Federation

Filimonov M.D. – Postgraduate Student of the Department of Applied Informatics, Volga State University of Telecommunications and Informatics, Samara, 443010, Russian Federation

Chernykh O.N. – PhD (Economics), Associate Professor of the Department of Applied Informatics, Volga State University of Telecommunications and Informatics, Samara, 443010, Russian Federation, e-mail: o.chernyh@psuti.ru

Mironov P.Yu. – Postgraduate Student of the Department of Applied Informatics, Volga State University of Telecommunications and Informatics, Samara, 443010, Russian Federation

Информация о статье

Поступила в редакцию: 6.07.2025

Поступила после рецензирования: 17.01.2026

Принята к публикации: 29.01.2026

Paper info

Received July 6, 2025

Reviewed January 17, 2026

Accepted January 29, 2026