

ОЛЬГА ГОЛДА

СИСТЕМНО-ДИНАМИЧЕСКИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация. В статье рассматривается подход к проектированию и анализу организационной модели управления производством промышленного предприятия на основе когнитивного и имитационного моделирования. Актуальность исследования обусловлена необходимостью совершенствования систем управления промышленными предприятиями в условиях высокой вариативности внешней среды, усложнения производственно-управленческих связей и недостаточности статических оптимизационных моделей для описания динамики организационных процессов. Целью работы является формализация организационной модели управления производством металлургического предприятия с использованием диаграммы причинно-следственных связей и ее последующая реализация в среде имитационного моделирования. В исследовании применены методы системного анализа, экономико-математического, когнитивного и системно-динамического моделирования. Организационная структура предприятия представлена как совокупность производственной и функциональной подсистем, связанных вертикальными и горизонтальными управленческими взаимодействиями, а ключевыми параметрами модели выступают норма управляемости, затраты на содержание управленческого аппарата, производственные мощности, объемы реализации и чистая прибыль. Построенная когнитивная карта позволила выявить основные причинно-следственные зависимости между организационными, производственными и финансовыми параметрами предприятия, а имитационная модель – оценить влияние управленческих решений на динамику затрат и финансовых результатов. Полученные результаты показывают, что использование когнитивных карт в сочетании с имитационным моделированием расширяет возможности анализа устойчивости организационной структуры и обоснования решений по ее совершенствованию. Практическая значимость работы состоит в возможности применения предложенного подхода при проектировании и корректировке систем управления металлургических и иных промышленных предприятий.

Ключевые слова: когнитивное моделирование, когнитивная карта, имитационное моделирование, системная динамика, организационная модель управления, промышленное предприятие, управление производством

Введение

В современных условиях усиления конкурентной борьбы и высокой вариативности внешней среды особую значимость приобретает совершенствование систем управления производством на промышленных предприятиях.

Эффективная система управления наиболее востребована на предприятиях, имеющих сложную иерархическую систему управления (большим количеством уровней иерархии) с линейно-функциональной структурой, высокой степенью централизации и акцентом на управление непрерывными производственными процессами (металлургическая, нефтехимическая и нефтеперерабатывающая отрасли, цементные и горнодобывающие комбинаты, энергетические предприятия). Традиционные подходы к организационному проектированию, опирающиеся преимущественно на статические оптимизационные модели, оказываются недостаточными для адекватного отражения сложных взаимосвязей между элементами производственно-управленческой системы и не позволяют в полной мере учитывать динамику изменений во времени. Это создает необходимость в инструментах, способных инте-

грировать экономико-математическое моделирование с системным и системно-динамическим подходами к управлению.

Одним из инструментов являются когнитивные карты или диаграммы причинно-следственных связей, позволяющие формализовать структуру экономической системы, отразить направленность и силу влияний между ее элементами, а также выделить ключевые контуры обратной связи. Для металлургических предприятий, рассматриваемых в статье в качестве примера, характеризующихся большим масштабом производства, сложной технологической структурой и высокой капиталоемкостью, когнитивные модели дают возможность анализировать влияние организационных решений на финансовые результаты и устойчивость функционирования, а также формировать сценарии развития с учетом взаимозависимости управленческих и производственных параметров.

Традиционно исследования в области моделирования организационных структур промышленных предприятий опираются на методы теории графов, системного анализа и оптимизации иерархий [1, 2]. Организационная структура рассматривается как ориентированный ациклический граф, вершины которого

описывают исполнителей и менеджеров, а дуги – отношения подчиненности и информационные связи. Значительное внимание уделяется норме управляемости и распределению функций между уровнями иерархии как ключевым факторам эффективности.

Развитие используемого нами системно-динамического подхода позволило перейти от статического анализа к исследованию поведения сложных организационно-производственных систем во времени [3]. В рамках этого подхода широко применяются диаграммы влияний и когнитивные карты, описывающие причинно-следственные связи между ресурсами, потоками, результатами и управленческими решениями. Исследования в области моделирования организационных структур металлургических предприятий [4, 5] демонстрируют целесообразность использования интеграции оптимизационных и имитационных моделей, в том числе на базе специализированных пакетов структурного моделирования, для оценки влияния организационных изменений на производственные показатели и чистую прибыль предприятия. Когнитивные карты выступают ключевым инструментом формализации структуры системы и постановки задачи имитационного эксперимента.

В смежных прикладных исследованиях развитие методов моделирования сложных систем связано также с учетом неопределенности, нечеткости и неполноты исходной информации. Так, в работе показано, что для слабоструктурированных производственных процессов целесообразно использовать интеграцию логико-динамических и нечетко-вероятностных моделей, позволяющую учитывать влияние различных факторов неопределенности на устойчивость и качество принимаемых решений [6]. Дополнительный методологический интерес представляют исследования, ориентированные на формирование и уточнение исходных данных модели. В частности, в работе предложен подход, основанный на применении нечеткой кластеризации и системы показателей качества, обеспечивающий более обоснованный выбор исходных данных и повышение достоверности результатов моделирования и анализа [7].

Основная часть

Для описания работы промышленного предприятия со сложной иерархической структурой и моделирования процессов управления производством выбрана организационная модель управления производством металлургического предприятия [8].

Модель формируется в условиях необходимости обеспечения

- устойчивости режима функционирования,
- адаптивности к изменениям внешней среды,
- минимизации управленческих затрат.

В соответствии с требованиями к рациональным организационным структурам данная модель должна характеризоваться

- функциональностью,
- экономичностью,
- избыточностью,
- устойчивостью,
- стратегической направленностью.

Такая структура управления должна обеспечивать согласованность работы менеджеров и исполнителей, минимальные расходы на выполнение управленческих функций, достаточную глубину иерархии без избыточного числа уровней, а также способность к адаптации при изменении рыночных условий.

С точки зрения формализации организационная модель описывается как иерархическая структура, в которой выделяются множество исполнителей производственной подструктуры и множество менеджеров функциональной подструктуры [9].

Между ними устанавливаются вертикальные и горизонтальные связи, для характеристики интенсивности которых выбраны:

- количество передаваемой документации,
- число контактов, не связанных с документооборотом.

Эти характеристики формируют функцию затрат на содержание аппарата управления, зависящую от количества принимаемых менеджерами решений, нормы управляемости и параметров сжатия информации о проблемах в группе исполнителей.

$$H' \in \text{Arg min } C(H),$$

$$C: \Psi \rightarrow [0, +\infty),$$

$$\Psi \subseteq \Psi(N),$$

где H' – оптимальная иерархическая структура предприятия; $C(H)$ – функция затрат, ставящая в соответствие каждой допустимой иерархии положительное число; Ψ – множество допустимых иерархий, которые управляют множеством исполнителей.

Обеспечение бесперебойного технологического процесса осуществляется за счет принятия m -м менеджером D решений в единицу времени. Тогда затраты на содержание m -го менеджера можно представить в виде:

$$c_m = D^{\varphi_m},$$

где c_m – затраты на содержание m -го менеджера, $c_m \in C$; φ_m – параметр, который описывает скорость роста затрат на содержание m -го менеджера, $\varphi_m \geq 1$. При этом, чем меньше параметр φ , тем больше эффективность деятельности m -го менеджера, так как при принятии совокупности решений D он несет меньшие затраты для металлургического предприятия.

В каждой из функциональных зон, обеспечивающих осуществление производственного процесса, в единицу времени может возникать определенное число проблем, которые являются мерой управляемости каждого отдельного n -го исполнителя.

Соответственно, количество проблем, возникающих в единицу времени у группы исполнителей, равно:

$$P = \sum_{n=1}^N \rho(u_n^\beta),$$

где P – мера управляемости группы исполнителей; $\rho(u_n^\beta)$ – мера управляемости n -го исполнителя; β – параметр сжатия информации о проблемах в отчете каждого n -го исполнителя. При этом параметр $\beta \in [0, 1]$ характеризует однотипность проблем, возникающих у каждого n -го исполнителя, и определяет степень стабильности производственного процесса. Интерпретация значений параметра β может быть представлена следующим образом:

– при $\beta = 0$ отчет группы исполнителей свидетельствует об отсутствии проблем в ходе осуществления производственного процесса металлургического предприятия;

– при $\beta \in (0, 1)$ в отчете группы исполнителей присутствуют однотипные проблемы, в результате чего объем отчета о работе данной группы исполнителей не определяется числом исполнителей и принимает значение меньше единицы;

– при $\beta = 1$ отчет группы исполнителей свидетельствует о наличии серьезных проблем в ходе осуществления производственного процесса металлургического предприятия.

С учетом вышеизложенного затраты на содержание m -го менеджера, которому подчинено n исполнителей, можно найти в соответствии с выражением:

$$c_m = \sum_{n=1}^N [\rho(u_n^\beta)]^{p_m}.$$

В рамках экономико-математического описания организационной модели ставится задача поиска оптимальной иерархии, обеспечивающей минимизацию совокупных затрат при заданных ограничениях по производственной мощности, трудовым и материально-сырьевым ресурсам, а также по норме управляемости менеджеров. В качестве результирующего финансового показателя рассматривается чистая прибыль предприятия, рассчитываемая с учетом выручки от реализации продукции, производственных и непроизводственных затрат, расходов на содержание персонала, капитальных вложений и обязательных платежей [10].

$$\begin{aligned} Net Profit = & \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T x(i, t) \cdot p(i, t) - \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T x(i, t) \cdot e(n, i, t) - \\ & - \sum_{m=1}^M \sum_{t=1}^T c_m(t) - \sum_{i=1}^I \sum_{t=1}^T x(i, t) \cdot w(i, t) - \sum_{t=1}^T f(t) - \\ & - \sum_{t=1}^T k(t) - \sum_{t=1}^T a(t) \rightarrow \max \\ & i = \overline{1, I}, t = \overline{1, T}, n = \overline{1, N}, m = \overline{1, M}, \end{aligned}$$

где $Net Profit$ – чистая прибыль металлургического предприятия; $c_m(t)$ – затраты на содержание m -го менеджера в период времени t ; $x(i, t)$ – объем производства i -го вида продукции в период времени t ; $p(i, t)$ – цена реализации i -го вида продукции в период времени t ; $e(n, i, t)$ – текущие затраты на производство и реализа-

цию n -м исполнителем i -го вида продукции в период времени t ; $w(i, t)$ – затраты на производство и реализацию i -го вида продукции в период времени t , образующие себестоимость, но не относимые ни к одному исполнителю n ; $f(t)$ – затраты на расширение и обновление производства в период времени t ; $k(t)$ – непроизводственные затраты металлургического предприятия в период времени t ; $a(t)$ – сумма налогов, пеней, штрафов и процентов по кредитам в период времени t .

Таким образом, организационная модель управления производством включается в структуру общей модели синергетического эффекта функционирования металлургического предприятия и оказывает непосредственное влияние на его рентабельность.

Рассмотренная оптимизационная постановка задачи проектирования организационной модели управления производством ориентирована на одномоментный срез информации и поиск оптимального решения для фиксированного набора параметров. Однако в реальных условиях функционирования металлургического предприятия внешняя и внутренняя среда подвержены существенным изменениям, что приводит к изменению интенсивности производственных и финансовых потоков, структуры затрат, парка оборудования и кадрового состава. В этих условиях использование исключительно статических оптимизационных моделей не позволяет описывать динамику состояний системы и оценивать устойчивость найденного решения.

Для преодоления указанных ограничений целесообразно применение имитационного моделирования. Этот подход позволяет воспроизводить процесс функционирования экономической системы во времени, сохранять логическую структуру и последовательность ключевых событий, а также формировать сценарии развития при варьировании управленческих решений.

Использование имитационной модели предоставляет дополнительные преимущества: позволяет учитывать случайные факторы, влияющие на управленческие решения и производственные результаты; проводить эксперименты с изменением структуры организационной иерархии и норм управляемости; анализировать чувствительность итогового финансового результата к изменению ключевых параметров системы. Вместе с тем построение такой модели требует предварительной формализации причинно-следственных связей между структурными элементами организационной системы, для чего используется когнитивное моделирование [11].

Ключевым элементом предлагаемого подхода к проектированию и анализу организационной модели управления производством металлургического предприятия является диаграмма причинно-следственных связей, представляющая собой когнитивную карту системы. В данной диаграмме структурные элементы организационно-производственного комплекса (уровень чистой прибыли, объемы реализации, структура затрат, число исполнителей и менеджеров, норма управляемости, производственные мощности и др.) представлены в виде

вершин, а причинно-следственные связи между ними – в виде ориентированных дуг со знаками влияния [11].

Положительные связи отражают ситуации, когда увеличение значения одного элемента при прочих равных условиях приводит к увеличению (или уменьшению – к уменьшению) значения связанного элемента. Например, рост объемов реализации рентабельных видов продукции при неизменной структуре затрат способствует увеличению величины чистой прибыли. Отрицательные связи характеризуют взаимосвязи, при которых рост одного параметра приводит к снижению другого. Так, увеличение затрат на содержание управленческого аппарата при фиксированном уровне выручки снижает чистую прибыль предприятия. Замкнутые контуры причинно-следственных связей фор-

мируют петли обратной связи, которые в зависимости от произведения знаков входящих в них дуг могут быть положительными (усиливающими) или отрицательными (стабилизирующими).

Структура диаграммы причинно-следственных связей организационной модели управления производством металлургического предприятия сформирована на основе системно-динамического подхода (рис. 1). В ней выделены блоки, отражающие производственную подструктуру (исполнители и производственные мощности), функциональную подструктуру (менеджеры и их управленческая нагрузка), финансовые потоки (выручка, производственные и непроизводственные затраты, капитальные вложения, налоговые платежи), а также результирующий показатель – чистую прибыль.

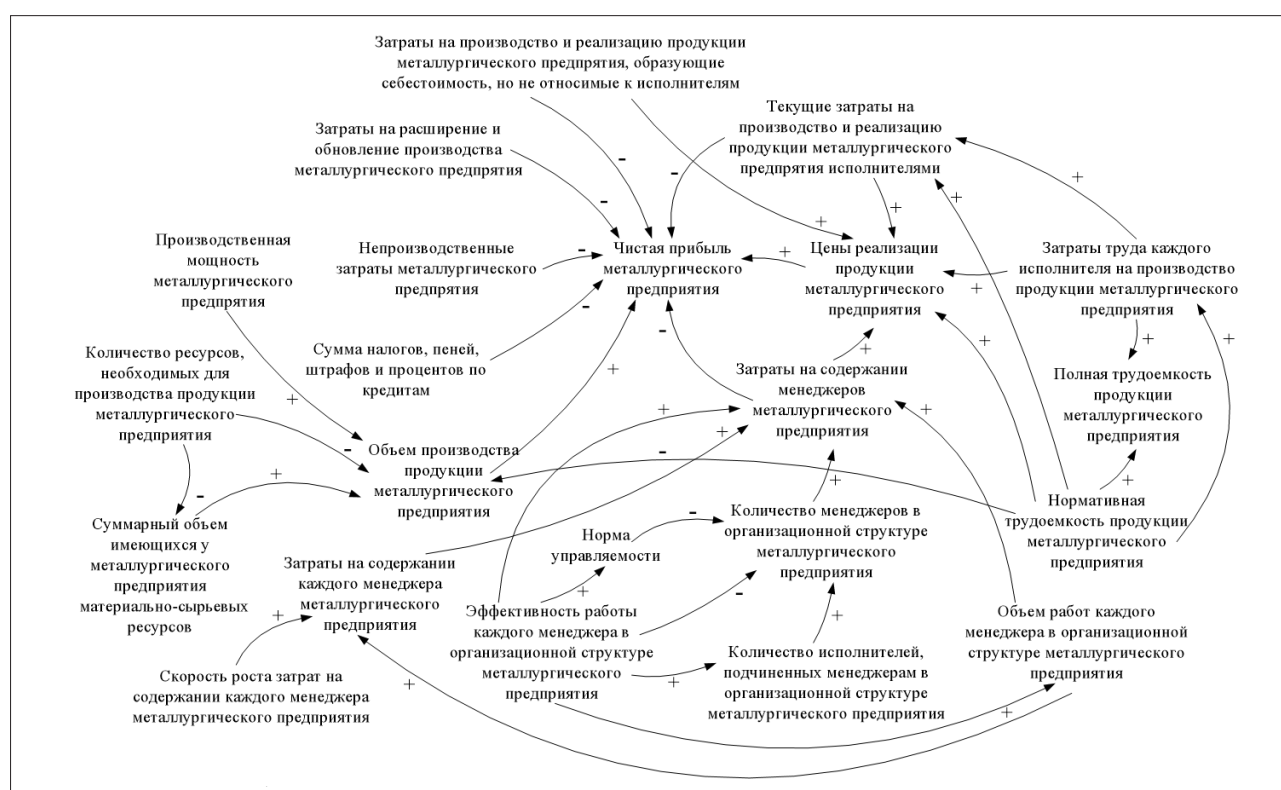


Рисунок 1. Диаграмма причинно-следственных связей организационной модели управления производством металлургического предприятия (системно-динамический подход)

Особое внимание уделено связям, характеризующим влияние нормы управляемости менеджеров, параметров сжатия информации о проблемах в группах исполнителей и скорости роста затрат на содержание управленческого персонала на величину управленческих расходов и итоговый финансовый результат.

Диаграмма причинно-следственных связей выполняет две функции [12]. Во-первых, она служит инструментом качественного анализа структуры организационной системы: позволяет выявить ключевые переменные, «узкие места», а также контуры, определяющие устойчивость или неустойчивость поведения

системы. Во-вторых, она является исходной основой для построения имитационной модели: на ее базе формируется перечень переменных, задаются направленность и характер связей, выбираются уровневые и потоковые переменные, а также вспомогательные зависимости. Таким образом, диаграмма причинно-следственных связей обеспечивает непрерывность между концептуальным описанием организационной модели и ее количественной реализацией [13].

На основе диаграммы причинно-следственных связей организационная модель управления производством металлургического предприятия реализуется в среде Powersim (рис. 2).

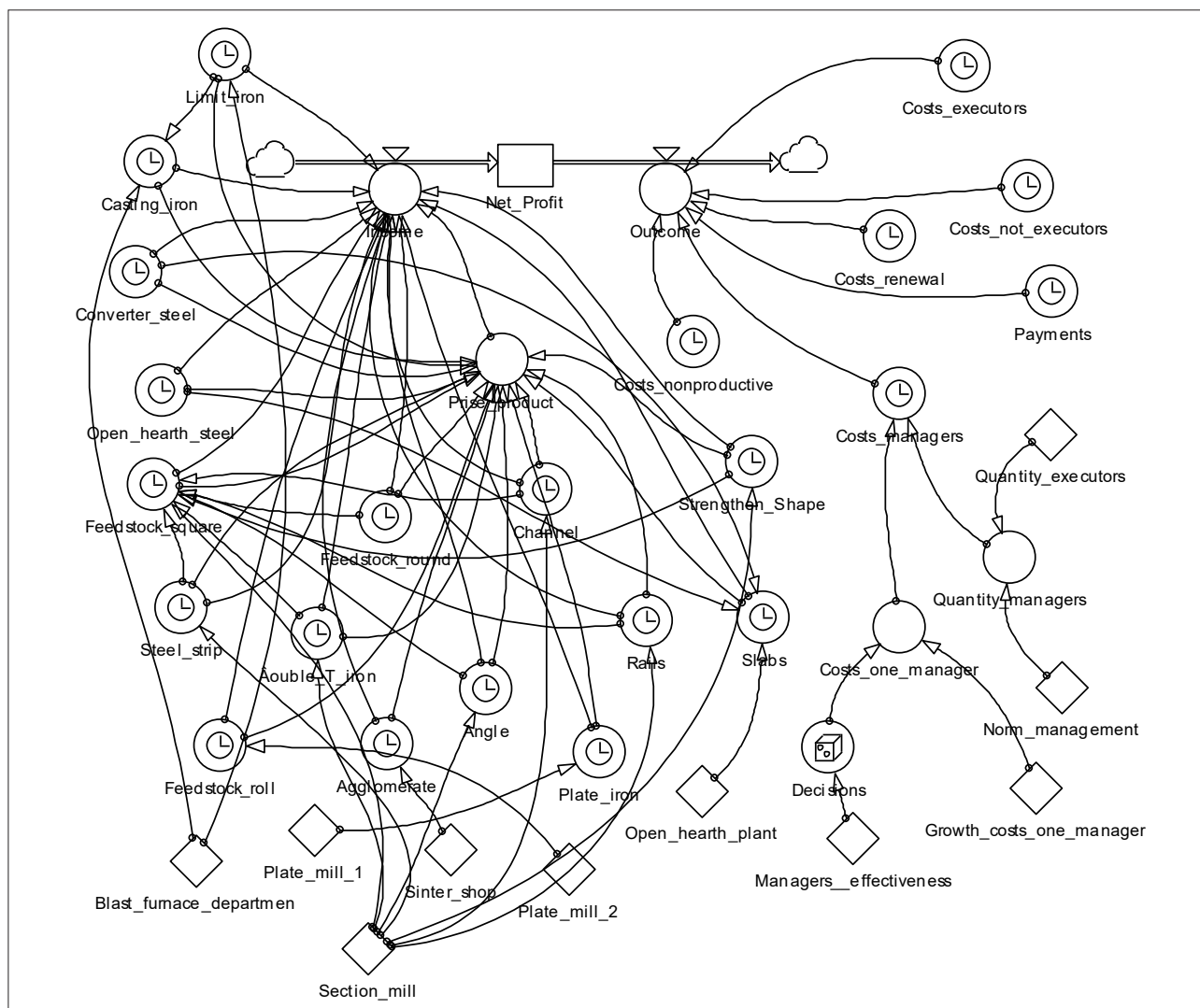


Рисунок 2. Имитационная модель управления производством металлургического предприятия

В качестве объекта моделирования [14] рассматривается металлургическое предприятие с полным технологическим циклом, для которого доступны данные официальной отчетности по объемам выпуска, структуре ассортимента, производственным мощностям, затратам и кадровому составу. В имитационной модели уровень *Net_Profit* отражает накопление чистой прибыли во времени, а потоки *Income* и *Outcome* задают ее прирост и уменьшение в зависимости от управления производством и затратами.

Выручка от реализации (*Income*) формируется из производства объемов поставок отдельных видов продукции на соответствующие цены реализации. Объемы поставок ограничиваются производственной мощностью цехов и ресурсными ограничениями, а также учитывают динамику спроса. Затраты (*Outcome*) агрегируют расходы на производство и реализацию продукции исполнителями, затраты, образующие себестоимость, но не относимые к исполнителям, расходы на содержание менеджеров, капитальные вложения, непроизводительные затраты и обязательные платежи. При этом

значение затрат на содержание менеджеров зависит от количества менеджеров в организационной структуре, их нормы управляемости и скорости роста затрат на содержание каждого менеджера.

Структура имитационной модели соответствует блокам, выделенным в диаграмме причинно-следственных связей: производственный блок (объемы выпуска, мощности цехов), кадровый блок (число исполнителей и менеджеров, норма управляемости, параметр эффективности менеджеров), финансовый блок (выручка, затраты, чистая прибыль), блок организационных ограничений (трудовые, ресурсные и мощностные ограничения). Использование встроенных функций Powersim позволяет моделировать случайные величины, отражающие вариативность управленческих решений и производственных условий, а также анализировать отклик системы на изменения заданных параметров.

Результаты имитационного моделирования демонстрируют, что сформированная организационная модель управления производством металлургического предприятия соответствует требованиям рациональной

организационной структуры, обеспечивая рост чистой прибыли при приемлемом уровне затрат на содержание аппарата управления. Графики динамики чистой прибыли и затрат, полученные в ходе моделирования, по-

зволяют оценить характер влияния ключевых факторов на финансовые результаты предприятия и выделить диапазоны параметров, в которых система сохраняет устойчивость (рис. 3).

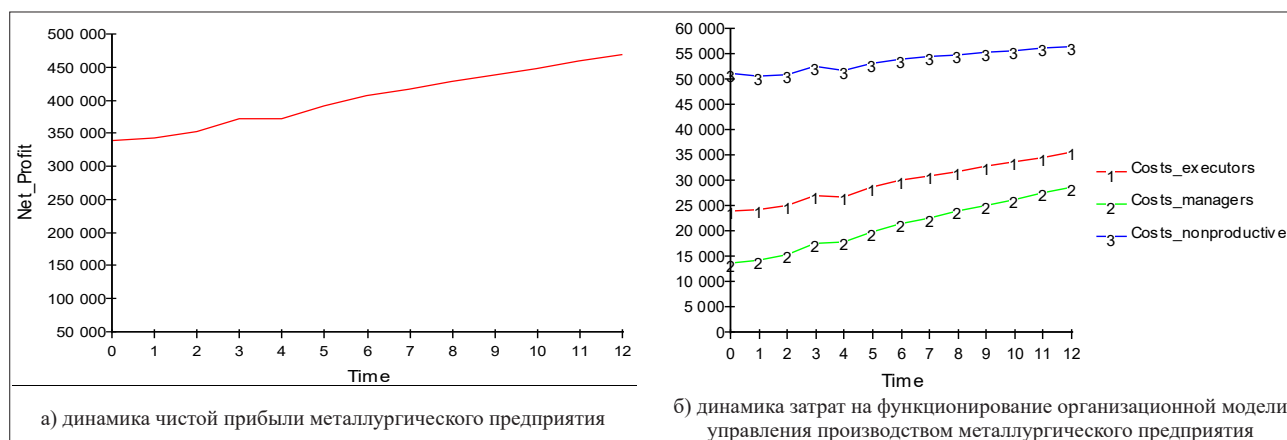


Рисунок 3. Результаты реализации организационной модели управления производством в среде Powersim

Анализ поведения модели показывает, что норма управляемости менеджеров и параметры сжатия информации о проблемах в группах исполнителей оказывают существенное влияние на величину управленческих затрат. Увеличение нормы управляемости при неизменной эффективности менеджеров и структуре проблем позволяет сократить численность управленческого персонала, однако при превышении определенного порогового значения приводит к росту атипичности проблем и увеличению объема работы менеджеров, что, в свою очередь, повышает затраты на содержание управленческого аппарата. Таким образом, оптимальная норма управляемости определяется компромиссом между сокращением численности менеджеров и сохранением приемлемого уровня управленческих затрат.

Когнитивная карта и соответствующая ей имитационная модель позволяют также оценить влияние инвестиционных решений на долгосрочную динамику чистой прибыли. Увеличение затрат на расширение и обновление производства в краткосрочной перспективе снижает текущую прибыль, однако при соответствующем росте производственных мощностей и объемов реализации рентабельной продукции приводит к улучшению финансовых результатов в долгосрочном периоде. Анализ контуров обратной связи показывает, что положительные петли, связанные с расширением производственных мощностей и ростом выручки, должны быть сбалансированы отрицательными контурами, отражающими ограничения по ресурсам и управленческим возможностям, чтобы избежать неустойчивого роста затрат и потери управляемости системой.

Заключение

Предложенный подход к проектированию организационной модели управления производством металлургического предприятия основан на интеграции экономико-математического моделирования, когнитивных карт и системно-динамического имитационного моделирования. Диаграмма причинно-следственных связей выступает центральным элементом этого подхода, обеспечивая формализацию структуры организационно-производственной системы, выявление ключевых факторов и контуров обратной связи, а также служа основой для построения имитационной модели в среде Powersim.

Результаты моделирования показывают, что использование когнитивных карт и имитационных моделей позволяет более полно учитывать сложные взаимосвязи между организационными, производственными и финансовыми параметрами металлургического предприятия или других типов промышленных предприятий, оценивать влияние управленческих решений на динамику чистой прибыли и затраты, а также формировать рекомендации по оптимизации нормы управляемости, численности персонала и структуры затрат. Практическая значимость предложенного подхода заключается в возможности применения его для обоснования организационных изменений, планирования производственных и инвестиционных решений, а также для разработки стратегий повышения эффективности деятельности металлургических предприятий в условиях нестабильной внешней среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Форрестер, Д. Основы кибернетики предприятия : (индустриальная динамика) / Джей Форрестер. Москва : Прогресс, 1971. 340 с.

2. Гинис, Л. А. Моделирование сложных систем: когнитивный теоретико-множественный подход / Л. А. Гинис, Л. В. Гордиенко. Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2016. 159 с.
3. Стерман, Дж. Бизнес-динамика: системы мышления и моделирование сложного мира / Дж. Стерман. Москва : Альпина Паблишер, 2000. 994 с.
4. Ткаченко, В. А. Моделирование организационной структуры управления на промышленных предприятиях / В. А. Ткаченко, С. И. Чимшит, Е. В. Козлов // *Економічний вісник Донбасу*. 2010. № 3 (21). С. 154–164. URL: https://www.evd-journal.org/download/2010/2010-3/ek_visnyk_3_2010-154-164.pdf (дата обращения: 17.06.2026).
5. Ханина, А. В. Экономика и управление организацией (металлургического профиля) / А. В. Ханина. Москва : КноРус, 2026. 204 с.
6. Consideration of non-factors in complex models of agricultural production / B. Sokolov, A. Spesivtsev, N. Lapitskaya, A. Semyonov // *Robotics in Agriculture (ADOP 2025)*. Springer, 2026. Vol. 453. P. 393–402. DOI: 10.1007/978-3-032-07171-2_32.
7. Zelentsov, V. Methodology for assessing the quality of multispectral space imaging data in landscape element monitoring / V. Zelentsov, V. Mochalov, N. Lapitskaya // *Robotics in Agriculture (ADOP 2025)*. Springer, 2026. Vol. 453. P. 355–366. DOI: 10.1007/978-3-032-07171-2_29.
8. Голда, О. А. Модель управления производством металлургических предприятий / О. А. Голда // Актуальные вопросы современной информатики : материалы V Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции, 1-15 апреля 2015 г. Коломна, 2015. С. 126–130.
9. Минцберг, Г. Структура в кулаке: создание эффективных организаций / Генри Минцберг. СПб. : Питер, 2012. 512 с.
10. Губко, М. В. Оптимальные иерархии управления для функций затрат, представимых в виде суммы однородных функций / М. В. Губко // *Проблемы управления*. 2009. № 3. С. 44–53. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimalnye-ierarhii-upravleniya-dlya-funktsiy-zatrat-predstavimyh-v-vide-summy-odnorodnyh-funktsiy> (дата обращения: 19.06.2026).
11. Иванова, О. Е. Когнитивные модели управления затратами промышленных предприятий с идентифицируемыми параметрами / О. Е. Иванова, М. С. Абрашкин, С. И. Польская // *Russian Journal of Management*. 2025. № 7. С. 194–205. DOI: 10.29039/2500-1469-2025-13-7-194-205.
12. Горелова, Г. В. Когнитивное моделирование сложных систем: состояние и перспективы / Г. В. Горелова // Системный анализ в проектировании и управлении : сборник научных трудов XXV Международной научной и учебно-практической конференции, 13–14 октября 2021 г. : в 3 ч. / Международная академия наук высшей школы, Санкт-Петербургское отделение [и др.] ; программный комитет конференции: Ю. С. Васильев (пред.) [и др.] ; отв. ред. В. Н. Волкова, В. Н. Козлов. Санкт-Петербург, 2021. Ч. 1. С. 224–248. DOI: 10.18720/SPBPU/2/id21-66.
13. Когнитивное моделирование экономического развития промышленных экосистем / Е. С. Митяков, Н. Н. Карпухина, С. Н. Митяков, А. И. Ладынин // *Экономика промышленности*. 2025. Т. 18, № 1. С. 63–77. DOI: 10.17073/2072-1633-2025-1-1383.
14. Радаев, А. Е. Имитационное моделирование производственных систем / А. Е. Радаев, В. В. Кобзев. 3-е изд., перераб. и доп. Санкт-Петербург : ПОЛИТЕХ-ПРЕСС, 2022. 136 с.

REFERENCES

1. Forrester J. *Industrial Dynamics*. Moscow: Progress; 1971. 340 p. (in Russian).
2. Gini L.A., Gordienko L.V. *Modeling Complex Systems: A Cognitive Set-Theoretic Approach*. Rostov-on-Don; Taganrog: Yuzhnyi Federal'nyi Universitet Publ.; 2016. 159 p. (in Russian).
3. Sterman J. *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Moscow: Al'pina Publisher; 2000. 994 p. (in Russian).
4. Tkachenko V.A., Chimshit S.I., Kozlov E.V. Design of organizational structure of management on industrial enterprises. *Economic Herald of the Donbas*. 2010;3(21):154–164. Available at: https://www.evd-journal.org/download/2010/2010-3/ek_visnyk_3_2010-154-164.pdf (accessed 17 June 2026) (in Russian).
5. Khanina A.V. *Ehkonomika i upravlenie organizatsiei (metallurgicheskogo profilya) [Economics and Management of the Organization (Metallurgical Profile)]*. Moscow: KnoRus; 2026. 204 p. (in Russian).
6. Sokolov B., Spesivtsev A., Lapitskaya N., Semyonov A // Consideration of non-factors in complex models of agricultural production. *Robotics in Agriculture (ADOP 2025)*. 2026;1:393–402. https://doi.org/10.1007/978-3-032-07171-2_32.
7. Zelentsov V., Mochalov V., Lapitskaya N. Methodology for assessing the quality of multispectral space imaging data in landscape element monitoring. *Robotics in Agriculture (ADOP 2025)*. 2026;1:355–366. https://doi.org/10.1007/978-3-032-07171-2_29.
8. Golda O.A. Model' upravleniya proizvodstvom metallurgicheskikh predpriyatii [Production management mod-

el for metallurgical enterprises]. *Aktual'nye voprosy sovremennoi informatiki [Topical Issues of Modern Informatics]*. 2015;V:126–130 (in Russian).

9. Mintzberg H. *Structure in Fives: Designing Effective Organizations*. St. Petersburg: Piter; 2012. 512 p. (in Russian).

10. Gubko M.V. Optimal hierarchies of control for cost functions representable as a sum of homogeneous functions. *Control Sciences*. 2009;3:44–53. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/optimalnye-ierarhii-upravleniya-dlya-funktsiy-zatrat-predstavimyh-v-vide-summy-odnorodnyh-funktsiy> (accessed 17 June 2026) (in Russian).

11. Ivanova O.E., Abrashkin M.S., Pol'skaya S.I. Cognitive models of industrial enterprise cost management with identifiable parameters. *Russian Journal of Management*. 2025;7:194–205 (in Russian). <https://doi.org/10.29039/2500-1469-2025-13-7-194-205>.

12. Gorelova G.V. Cognitive modeling of complex systems, state and prospects. *Sistemnyi analiz v proektirovanii i upravlenii [System Analysis in Design and Management]*. 2021;XXV(1):224–248 (in Russian). <https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/id21-66>.

13. Mityakov E.S., Karpukhina N.N., Mityakov S.N., Ladynin A.I. Cognitive modelling of economic development of industrial ecosystems. *Russian Journal of Industrial Economics*. 2025;18(1):63–77 (in Russian). <https://doi.org/10.17073/2072-1633-2025-1-1383>.

14. Radaev A.E., Kobzev V.V. *Imitatsionnoe modelirovanie proizvodstvennykh sistem [Simulation Modeling of Production Systems]*. St. Petersburg: POLITEKh-PRESS; 2022. 136 p. (in Russian).

OLGA GOLDA

A SYSTEM DYNAMICS APPROACH TO MODELING THE ORGANIZATIONAL MODEL OF PRODUCTION MANAGEMENT AT AN INDUSTRIAL ENTERPRISE

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics
Minsk, Republic of Belarus*

Abstract. The article examines an approach to the design and analysis of the organizational model of production management at an industrial enterprise based on cognitive and simulation modeling. The relevance of the study is due to the need to improve industrial enterprise management systems under conditions of high external environmental variability, increasing complexity of production and managerial relationships, and the insufficiency of static optimization models for describing the dynamics of organizational processes. The aim of the study is to formalize the organizational model of production management at a metallurgical enterprise using a causal loop diagram and to implement it subsequently in a simulation modeling environment. The research employs methods of systems analysis, economic-mathematical modeling, cognitive modeling, and system dynamics modeling. The organizational structure of the enterprise is presented as a set of production and functional subsystems interconnected through vertical and horizontal managerial interactions, while the key parameters of the model include span of control, management personnel maintenance costs, production capacity, sales volume, and net profit. The constructed cognitive map made it possible to identify the main cause-and-effect relationships among the organizational, production, and financial parameters of the enterprise, while the simulation model enabled an assessment of the impact of managerial decisions on the dynamics of costs and financial performance. The results obtained show that the use of cognitive maps in combination with simulation modeling expands the possibilities for analyzing the stability of the organizational structure and for substantiating decisions aimed at its improvement. The practical significance of the study lies in the possibility of applying the proposed approach to the design and adjustment of management systems in metallurgical and other industrial enterprises.

Keywords: cognitive modeling, cognitive map, simulation modeling, system dynamics, organizational management model, industrial enterprise, production management



Голда О.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники (БГУИР), г. Минск, Республика Беларусь.

Кандидат экономических наук, доцент кафедры программного обеспечения информационных систем БГУИР.

Olga Golda

Belarusian State University at Informatics and Radioelectronics (BSUIR), Minsk, Republic of Belarus.

PhD in Economics, Associate Professor at the Department of Software of Information Technologies BSUIR.

E-mail: shpinyuk@gmail.com