

УДК 005.22:338.242:658.5

АДАПТАЦИЯ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ К "УМНОМУ" ПРЕДПРИЯТИЮ

Недбайло Д.В.

Научный руководитель: Коваленко А.А.

Аннотация: В статье рассматриваются возможности использования сетей Петри в контексте автоматизированного управления бизнес-процессами "умного" предприятия. На основе изученной методологии построена системная сеть Петри, адаптированная к "умному" производству. Архитектура сети представлена и расшифрована, описаны события, реализованные в рамках различных функциональных подсистем промышленного предприятия, интегрированных в единую информационную платформу. Предложенная сеть Петри может помочь сократить транзакционные и трансформационные издержки реинжиниринга, связанные с цифровой трансформацией предприятия.

Ключевые слова: Сети Петри, управление бизнес-процессами, умное предприятие, цифровая трансформация, автоматизация производства, управление цепочками поставок, информационные системы предприятия, моделирование процессов.

Современные производственные предприятия, ориентируясь на повышение конкурентоспособности, качества продукции, производительности процессов, оптимизацию затрат и ресурсосбережение, инвестируют в развитие автоматизированных систем, построение цифровых платформ, ключевой задачей которых является минимизация ошибок и сбоев в работе оборудования, предотвращение дефектов, сокращение времени на выполнение операций. В этом контексте развитие цифровых технологий позволяет выстраивать процессы таким образом, что система управления предприятием приобретает черты сети потоков данных, построенной по принципу сквозных бизнес-процессов. Таким образом формируется архитектура "умного" производства, отвечающая потребностям потребителей и учитывающая взаимодействие с поставщиками.

Бизнес-процессы "умного" производства транслируются в информационной среде промышленного предприятия, всегда определяется ответственное лицо, фиксируются исполнители каждого процесса, закрепляются показатели для оценки эффективности процессов, а также указываются допустимые параметры процессов и операций в отношении производственных процессов.

Для нефтехимических отраслей характерны достаточно сложные процессы и реакции, для которых автоматизация процессов, цифровизация систем управления является особенно актуальной проблемой [1]. Сетевой подход к управлению предприятием возможен путем построения единой информационной платформы, интегрирующей бизнес-процессы предприятия [2]. При этом интеграция информационных систем, поддерживающих различные бизнес-процессы промышленного предприятия, позволяет стандартизировать процессы, операции и документацию с учетом лучших отраслевых практик [3].

По нашему мнению, методология сетей Петри, основанная на теории направленных графов и детально изученная Дж. Л. Питерсоном [4], позволяет сжато отразить автоматизацию процессов "умного" производства. Изучению и реализации возможностей сетей Петри уделяется широкое внимание исследователей. В частности, в научной литературе представлены результаты использования сетей Петри для моделирования процесса очистки сточных вод на предприятиях нефтехимической отрасли [5], сортировка данных – параллельная и асинхронная [6], предотвращение химических происшествий [7], управление потоками транспорта [8] и т. д.

Наше исследование направлено на создание модели управления процессами промышленного предприятия в контексте интеллектуализации производства на основе сети Петри. Все процессы «умного» производства основаны на фундаментальном принципе цифровизации – систематическом подходе к управлению потоком материалов, информации и финансов от начала до конца. В этой связи особенно важно построить модель бизнес-процессов, которая всеобъемлюще описывает наиболее важные аспекты функционирования промышленного предприятия и адаптируется к корпоративной информационной системе. Таким образом, предлагается расширить спектр научных исследований в управлении бизнес-процессами и адаптировать сети Петри к «умному» предприятию.

Целью моделирования является создание системы управления, обеспечивающей организацию процессов в контексте функциональных подсистем. Построение моделей на основе сетей Петри является основой программного обеспечения для автоматизированного управления процессами и операциями. Основными элементами этой методологии являются переходы T_m , позиции информирования P_n , последовательно следующие друг за другом в соответствии с логикой управления процессами, а также функции маркировки.

Для создания модели интегрированного управления «умным» производством рассматриваются следующие функциональные аспекты промышленного предприятия [9]:

1. управление жизненным циклом производственных активов предприятия (планирование; приобретение или разработка собственных

производственных активов; установка производственных активов; эксплуатация и обслуживание; вывод из эксплуатации);

2. управление цепочкой поставок (планирование; закупки; производство; доставка; обратные потоки);

3. управление жизненным циклом продукта (идея о новом продукте, концепция; разработка нового продукта; производство нового продукта; обслуживание; утилизация продукта; улучшение продукта);

4. управление жизненным циклом исполнения заказа (получение заказа; планирование производства; прямое производство; доставка произведенного продукта; выставление счетов; утверждение счетов);

5. управление системой промышленной безопасности производства (планирование системы; проектирование системы; эксплуатация; обнаружение опасностей; диагностика выявленных опасностей; модернизация системы).

В результате построена системная сеть Петри второго рода, отражающая определенную иерархию наборов событий, рис. 1.

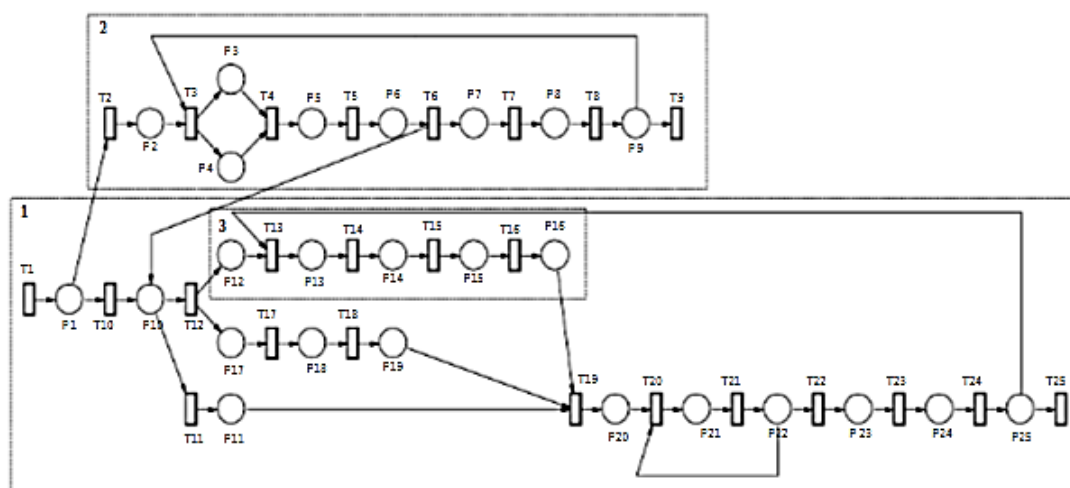


Рисунок 1. Сеть Петри, адаптированная для «умного» производства [6]

Обозначим события, учитываемые предложенной системой (моделируемые переходами T_m):

T1 - заказ размещен в информационной системе предприятия;

T2 - разрабатывается план развития производственной инфраструктуры (если необходимое производственное оборудование недоступно);

T3 - принимается решение «купить или произвести» относительно производственных активов и компонентов;

T4 - начинается работа по приобретению или изготовлению производственных активов, компонентов;

T5 - завершается работа по приобретению или изготовлению производственных активов;

T6 - начинается эксплуатация производственных активов;

- T7 - производственный процесс приостанавливается;
 - T8 - составляется дефектный отчет;
 - T9 - формируется приказ на списание имущества;
 - T10 - принимается решение использовать существующую инфраструктуру (если необходимое производственное оборудование установлено);
 - T11 - подтверждается наличие заказанного продукта в необходимом объеме на складе готовой продукции;
 - T12 - обнаруживается отсутствие готовых изделий на складе;
 - T13 - разрабатывается рабочая документация для нового продукта;
 - T14 - изготавливается прототип согласно разработанной рабочей документации;
 - T15 - проводится контроль качества произведенного нового продукта;
 - T16 - выпускается новый продукт в заказанном объеме;
 - T17 - продукт производится согласно имеющейся рабочей документации;
 - T18 - проверяется качество произведенного продукта;
 - T19 - исполнение заказа приостанавливается;
 - T20 - заказ отправляется на отгрузку;
 - T21 - заказ доставляется потребителю;
 - T22 - выставляется счет на оплату;
 - T23 - счет на оплату согласован;
 - T24 - начинается гарантийное обслуживание;
 - T25 - продукт утилизируется.
- Давайте перечислим условия, отраженные в модели:
- P1 - заказ от клиента принят к обработке;
 - P2 - составлен план развития производственной инфраструктуры;
 - P3 - принято решение о приобретении необходимых производственных активов;
 - P4 - принято решение о производстве необходимых производственных активов;
 - P5 - задействованные ресурсы (финансовые или производственные);
 - P6 - установлено необходимое оборудование;
 - P7 - получен сигнал о сбое оборудования;
 - P8 - работа оборудования приостановлена;
 - P9 - принято решение о дальнейшей эксплуатации или выводе оборудования из эксплуатации;
 - P10 - получен запрос на проверку наличия заказанного продукта в требуемом количестве на складе готовой продукции;
 - P11 - получено уведомление о наличии заказанного продукта в требуемом количестве на складе готовой продукции;
 - P12 - получен запрос в производство на производство нового продукта, который ранее не производился на предприятии;

P13 - утверждена рабочая документация для нового продукта;

P14 - получен прототип;

P15 - прототип прошел испытания на работоспособность;

P16 - произведен продукт для полученного заказа на новый продукт для компании;

P17 - получен запрос в производство на производство продукта согласно имеющейся рабочей документации.

P18 – произведен товар для полученного заказа;

P19 – произведенные товары прошли контроль качества;

P20 – получено уведомление о готовности произведенных товаров для отгрузки на склад готовой продукции;

P21 – заказ готов к отгрузке;

P22 – заказ доставлен;

P23 – счет на оплату выставлен;

P24 – счет согласован и оплачен;

P25 – уведомление о возникновении гарантийного случая.

На рисунке показаны 3 сетевых элемента в рамках единой системной сети:

1 – управление жизненным циклом выполнения заказа;

2 – управление жизненным циклом производственных активов предприятия;

3 – управление жизненным циклом продукта.

В первом случае механизм автоматизации охватывает сетевой элемент управления жизненным циклом продукта, элементы модели SCOR управления цепочкой поставок и подсистему "заказ-оплата". Во втором случае речь идет не только о управлении основными активами «умного» предприятия, но и о обязательном включении элементов механизма безопасности для автоматизированных систем управления бизнес-процессами промышленного предприятия.

Кроме того, построенная сеть Петри предусматривает обратные потоки. В случае $P22 \rightarrow T20$ может произойти возвратная упаковка; в случае $P9 \rightarrow T3$ – ремонт вышедшего из строя оборудования; $P25 \rightarrow T13$ описывает процесс улучшения товара с низким спросом.

Давайте опишем общие характеристики построенной сети Петри, адаптированной для «умного» производства.

Она является временной, так как ориентирована, в частности, на соблюдение графика процессов и операций, регулируемых стратегическими и тактическими планами, стандартами предприятия, технологическими инструкциями и другими документами. «Умное» производство объединяет ряд значимых подсистем управления предприятием: управление основными активами промышленного предприятия, продуктом, логистикой, заказами, системой защиты производства и автоматизированными системами [9].

Таким образом, представленная модель управления бизнес-процессами «умного» предприятия кратко описывает архитектуру основных функциональных подсистем «умного» производства. При этом эта модель не включает уровень операций, чтобы не усложнять восприятие событий и переходов.

Конечно, для интеллектуального производства требуется наиболее точное моделирование компьютеризации и цифровизации системы управления с учетом всех деталей. Это является целью предприятий, заинтересованных в модернизации производства и его адаптации к требованиям индустрии 4.0. Сеть Петри (рисунок), взятая за основу, обеспечит «умный» отклик информационно-коммуникационной платформы предприятия на любые отклонения в бизнес-процессах и предотвратит возникновение событий, затрудняющих развитие.

Таким образом, аналитический обзор научных исследований, изучение методологии построения сетей Петри позволило выявить абсолютную практическую ценность применения данного типа моделирования при построении архитектуры «умного» предприятия. Предложенная модель на основе сетей Петри иллюстрирует сложную взаимосвязанную систему процессов, переводящую логическую последовательность событий и условий. Разработанная сеть Петри второго вида отражает определенную иерархию наборов событий, где приоритетными функциями являются управление жизненным циклом выполнения заказов и управление жизненным циклом продукции, обеспечение управления жизненным циклом производственных активов предприятия и гарантии безопасности систем управления автоматизированными бизнес-процессами промышленного предприятия. Модель автора может быть учтена при цифровом преобразовании промышленных предприятий, интеллектуализации производства и является инструментом для проектирования фундаментально новой информационной платформы предприятия. Адаптированная сеть Петри может помочь сократить затраты на транзакции и трансформации реинжиниринга.

Список литературы

1. Шинкевич А.И., Барсегян Н.В., Дырдонова А.Н. и Фомин Ю.Н. 2020. Основные направления автоматизации производства нефтехимической продукции. *Journal of Physics: Conference Series*, 1515(2), 022016.
2. Абросимов Ю., Мингалеов Г. и Снегуренко А. 2020. Организация цифровой инфраструктуры предприятия. *Int. Multi-Conf. on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2020*, 9271088.
3. Шинкевич А.И. и соавт. 2019. Резервы повышения эффективности нефтехимического производства на базе Индустрии 4.0. *E3S Web of Conf.*, 124, 04006.

4. Peterson J L 1980. Заметка о раскрашенных сетях Петри. Information Processing Letters, 11(1), 40-3.
5. Азимов Ю.И., Савдур С.Н. и Фесина Е.Л. 2014. Обеспечение экологической безопасности на основе моделирования биологического процесса нефтяных сточных вод. Mediterranean Journal of Social Sciences, 5(24), 372-76.
6. Воевода А.А. и Романников Д.О. 2017. Асинхронный алгоритм сортировки бинарного массива с использованием сетей Петри. Journal of Physics: Conference Series, 803(1), 012178.
7. Zhou J and Reniers G 2021. Моделирование сетями Петри многоподразделенной аварийной реакции для предотвращения эффекта "домино" в нефтехимической промышленности. Process Safety and Environmental Protection, 146, 916-26.
8. Wicaksono A and Rudhito M A 2019. Моделирование узлов путевой системы с помощью сетей Петри и раскрашенных сетей Петри. J. Phys.: Conf. Ser., 1307, 012012.
9. Brandl D 2016. Умное производство - это слияние вещей. Control Engineering, 63(5), 29-31.

Недбайло Дмитрий Владимирович, студент специальности «Менеджмент», МН-20, 4 курс, dimitri.nedbailo@yandex.com, Россия, Мариуполь, ФГБОУ ВО «Приазовский государственный технический университет».

ADAPTING THE BUSINESS PROCESS MANAGEMENT MODEL TO A SMART ENTERPRISE

*Nedbaylo D.V.
Scientific supervisor: Kovalenko A.A.*

Abstract: The article discusses the possibilities of using Petri nets in the context of automated business process management of a smart enterprise. Based on the studied methodology, a Petri net system adapted to "smart" production has been built. The network architecture is presented and deciphered, and the events implemented within the framework of various functional subsystems of an industrial enterprise integrated into a single information platform are described. The proposed Petri net can help reduce the transactional and transformational costs of reengineering associated with the digital transformation of an enterprise.

Keywords: Petri nets, business process management, smart enterprise, digital transformation, production automation, supply chain management, enterprise information systems, process modeling.