

**ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ РАСКРАШЕННАЯ СЕТЬ ПЕТРИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ
БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ «ЦИФРОВОГО» ПРЕДПРИЯТИЯ**

В докладе обосновывается полезность использования модификации Раскрашенной сети Петри – Параметрической раскрашенной сети Петри – для структурного и имитационного моделирования бизнес-процессов «цифрового» предприятия и создания «цифрового двойника» этого предприятия.

«Цифровое» предприятие, моделирование бизнес-процессов, Раскрашенная сеть Петри.

Тема построения цифрового производства, цифрового предприятия и цифровой экономики в целом является одной из главных в современных дискуссиях о путях развития российской экономики. «Цифровизация» и выработка единого общегосударственного подхода к ней стали перспективным направлением государственной политики [1].

Одной из важнейших задач построения цифрового предприятия является задача построения и верификации электронной системы бизнес-процессов предприятия, производственных и непроизводственных, известной в рамках концепции «цифровизации» как «цифровой двойник» (“digital twin”) предприятия. Важное отличие «цифровых» бизнес-процессов от «обычных» состоит в том, что «цифровые» бизнес-процессы должны быть, в идеале, рассчитаны на автоматическое выполнение роботизированными системами под контролем автоматизированной системы управления (участком, цехом, подразделением и т.д.), или, по крайней мере, на выполнение человеко-машинной кооперацией под контролем автоматизированной системы управления в соответствии с чётким, пошагово определённым, регламентом.

За образец следует взять промышленные технологические процессы, которые как раз и являются бизнес-процессами со стандартизованным (ГОСТы) пошагово определённым регламентом, в котором прописано использование и перемещение всех задействованных в

процессе единиц различных ресурсов. Однако, чем выше степень самостоятельности человека, участвующего в процессе, особенно, если это процесс управления, тем сложнее разработать и верифицировать регламент выполнения процесса. Здесь необходимо отметить, что регламент выполнения бизнес-процесса, в идеале, должен учитывать все возможные варианты принимаемых человеком решений и их последствий.

Как известно, все возможные в некоторой конкретной ситуации управленческие решения могут быть отнесены к одной из трёх категорий:

1. Решение предсказуемое правильное.
2. Решение предсказуемое неправильное.
3. Решение непредсказуемое.

Именно с последними возникает больше всего проблем при организации чётко регламентированного автоматизированного выполнения бизнес-процесса: необходимо либо постараться исключить непредсказуемые решения, ограничивая самостоятельность исполнителя и/или повышая требования к его профессиональной квалификации, либо разработать процедуру перевода решения из третьей категории в первую или вторую, для чего необходимо оперативно, а лучше – заранее, анализировать последствия принятия такого непредсказуемого решения. Выбор одного из двух указанных путей в конкретной ситуации зависит от специфики бизнес-процесса и производственной ситуации в целом.

Нынешняя «цифровизация» однозначно заставляет нас вырабатывать регламенты выполнения бизнес-процессов заранее и с таким расчётом, чтобы максимально снизить риск структурного изменения уже выполняемого процесса, а также изменения номенклатуры и количества используемых в выполняемом про-

цессе ресурсов. Это означает, что резко возрастает роль и значение такого имитационного моделирования выполнения бизнес-процесса, которое позволило бы в процессе имитации выполнения процесса чётко отслеживать движение и судьбу каждой единицы каждого ресурса при выполнении каждой работы в процессе.

То обстоятельство, что и в структуре отдельных бизнес-процессов, и в организации их совместного выполнения часто присутствует параллелизм, а также необходимость контролировать судьбу отдельных единиц различных видов ресурсов позволяют прийти к выводу о необходимости организации указанного имитационного моделирования на основе аппарата сети Петри. Дополнительным аргументом в пользу такого выбора является то обстоятельство, что ряд современных нотаций структурного моделирования бизнес-процессов, таких, как eEPC или BPMN, основаны на том же подходе к описанию системы параллельных дискретных процессов, что позволяет выработать формализованные процедуры конвертации модели eEPC или BPMN в сеть Петри и наоборот.

К сожалению, классическая сеть Петри не подходит для имитационного моделирования потоков разнородных ресурсов, с которыми нам приходится иметь дело в большинстве реальных бизнес-процессов, поскольку все маркеры (или, иначе, - метки, токены) принадлежат к одному типу, и способны явно отразить только факт наступления того или иного события в ходе выполнения процесса, но не происходящие при этом изменения в судьбе отдельных единиц различных видов ресурсов.

При моделировании бизнес-процессов под каждым маркером должна подразумеваться единица некоторого ресурса, используемого в ходе процесса, или результата процесса (типа маркера): заготовка, изделие, исполнитель, документ, управленческое решение и т.д.

Более перспективным вариантом выглядит Раскрашенная (или, иначе, - цветная) сеть Петри (Colored Petri net) [2], где маркер может принадлежать к одному из

нескольких типов, каждому из которых взаимно-однозначно сопоставлен некоторый цвет. Однако, в случае рассматриваемой здесь задачи и этого недостаточно: типу и раскраске маркера может быть поставлен в соответствие определённый ресурс, как множество своих представителей, но не единичный представитель этого ресурса.

Для того, чтобы и сохранить присущую Раскрашенной сети Петри наглядность моделирования выполнения процесса, и обеспечить должную адекватность представления процесса Раскрашенной сетью Петри, необходимо модифицировать Раскрашенную сеть Петри так, чтобы уникальный идентификатор («раскраска») каждого маркера позволял:

- Идентифицировать каждую единицу каждого ресурса, задействованного в бизнес-процессе.

- Идентифицировать типовую принадлежность каждой единицы ресурса именно этому ресурсу.

- Проследить судьбу каждой единицы каждого ресурса в ходе выполнения бизнес-процесса.

Дополнительное ограничение состоит в том, чтобы не создавать в сети Петри «цветовую кашу», где чрезмерное, для наблюдателя, количество цветов будет препятствовать правильному пониманию наблюдаемого, хотя оно касается только визуальных, но не математических, аспектов моделирования.

Исходя из этих требований, авторы предлагают использовать для структурного и имитационного моделирования бизнес-процессов предприятия при создании его «цифрового двойника» модификацию Раскрашенной сети Петри – Параметрическую раскрашенную сеть Петри, в которой позиция, переход, дуга и маркер получают некоторые наборы параметров (свойств) с их значениями, позволяющие определить раскраску маркера для каждой единицы ресурса, участвующей в процессе, а также правила появления маркера в позиции и правила срабатывания перехода. Общий вид и правила выполнения такой сети Петри представлены на Рисунках 1 и 2.

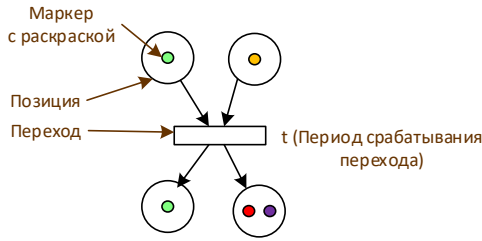


Рисунок 1. Общий вид Параметрической раскрашенной сети Петри

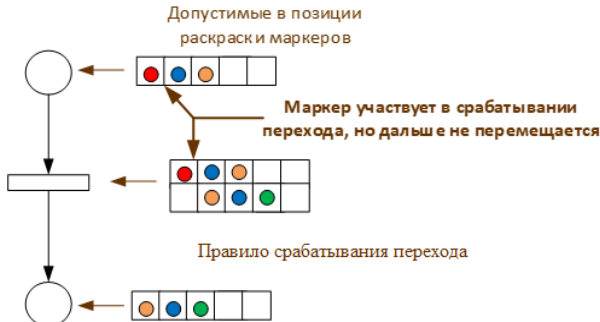


Рисунок 2. Правила появления маркера в позиции и срабатывания перехода

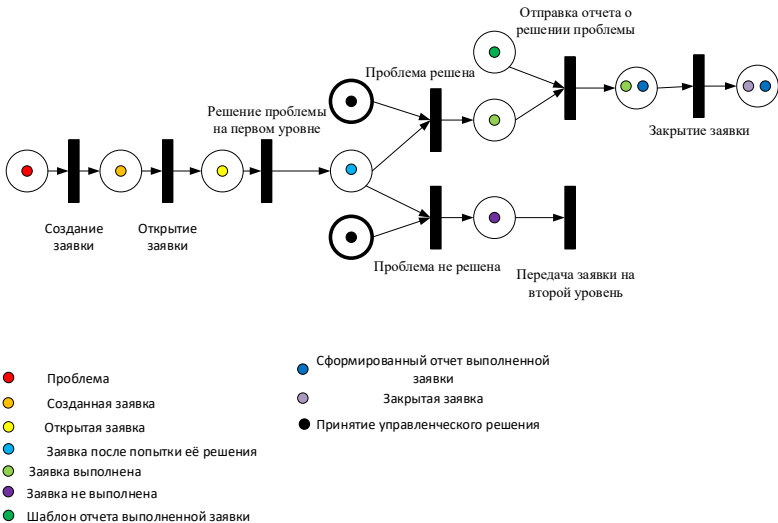


Рисунок 3. Пример моделирования бизнес-процесса, порядок выполнения которого зависит от принятого решения

При этом, дугам ставится в соответствие множество раскрасок маркеров, которые эта дуга может «пропустить» из позиции в переход или из перехода в по-

зицию. Также отдельная раскраска маркеров и отдельные позиции особого типа вводятся для отражения принятия или непринятия управленческих решений,

определяющих дальнейшее выполнение бизнес-процесса. Пример того, как и для чего это сделано, представлен на Рисунке 3 (для простоты, последовательное возникновение и исчезновение маркеров представлено как одномоментное).

Поскольку для каждой позиции и каждого перехода в рассматриваемой сети Петри можно задать допустимые или недопустимые раскраски маркеров, находящиеся в позиции или поступающих в переход, появляется возможность моделировать выполнение бизнес-процесса с учётом ограничений на попадание определённых маркеров в определённые позиции и переходы.

Таким образом, применение Параметрических раскрашенных сетей Петри улучшает качество и гибкость анализа объектов исследования, позволяя моделировать и отслеживать судьбу каждой единицы ресурса, каждого объекта, участвующего

в моделируемом процессе. В результате такого имитационного моделирования, экспериментатор может заранее отследить и предотвратить те ситуации (изменить сам бизнес-процесс, изменить ресурсы данного бизнес-процесса), при которых данный бизнес-процесс невозможно завершить вообще или, по крайней мере, завершить без ошибок и сбоев.

Список литературы

1. Распоряжение Правительства РФ от 28.07.2017 №1632-р утвердить прилагаемую программу "Цифровая экономика Российской Федерации" [Электронный ресурс] // Сайт Правительства РФ. – 2017 г. – Режим доступа: <http://static.government.ru/media/files/9gFM4FHJ4PsB79I5v7yLVuPgu4bvR7M0.pdf> (дата обращения: 20.04.2018).

2. Jensen K, Kristensen, L. Coloured Petri Nets Modelling and Validation of Concurrent Systems, Publisher Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. 374 p.

UDC 004.942

Kovshov E.

MSTU «STANKIN», Moscow

DIGITAL PRODUCTION IN THE STRUCTURE OF MODERN POWER-ENGINEERING COMPLEX

Energy enterprises are moving to digital manufacturing and CALS-technologies, automating manufacturing processes by combining them into a single information space on the basis of the industrial Internet of things (IIoT). Automation of production lines of non-destructive testing in the manufacture and operation of modern electric power plants allows to reduce the influence of the human factor on inspection results, improve the reliability and accuracy of the Big Data analysis.

Digital manufacturing, CALS-technology, non-destructive testing, automated workflow, intelligent digital platform, Big Data analysis.

Transition of Russian economy to the innovative way of its digital development requires the implementation of advanced information technology life-cycle management of high-tech products, including modern power engineering.

Application of CALS-technologies (CALS - Continuous Acquisition and Lifecycle Support) in the energy sector is very promising,

but the use of such technologies in the industry to date slightly, which significantly complicates information exchange and inhibits the development of the energy complex in general.

The purpose of the application of CALS-technologies as a tool for organization and information support of all participants in the creation of digital manufacturing and use of the product is to increase the efficiency of their activities. This is possible due to the acceleration of the processes of research and product development, make the product of new properties, cost reduction in production processes and operation of products, improve the level of service in the process of its operation and maintenance [1, p.370].

The strategy of CALS-technologies incorporates the most advanced, vital ideas and aims: the use of modern information technologies and methods of parallel development,