

**ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ДОКУМЕНТООБОРОТА ПРЕДПРИЯТИЯ
С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ**

© 2019 М.В. Иванов

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова,
г. Санкт-Петербург

Статья поступила в редакцию 23.05.2019

Предлагается подход к использованию искусственных нейронных сетей в задачах исследования функциональной модели документооборота производственного предприятия. Рассмотрена функциональная модель документооборота производственного предприятия с помощью методологии функционального моделирования IDEF0. Выявлены недостатки данной методологии в задачах моделирования систем в режиме реального времени. Предложен метод моделирования с помощью аппарата искусственных нейронных сетей. Сформулированы требования по построению и моделированию систем с помощью подхода по использованию искусственных нейронных сетей, предложена новая структура документооборота производственного предприятия.

Ключевые слова: производственное предприятие, производство, документооборот, система, модель, методология, IDEF0, искусственная нейронная сеть, искусственный нейрон.

ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей документооборота производственного предприятия является предоставление информации, необходимой для организации и поддержки процесса производства и выпуска продукции. При этом важно учитывать, что информация об изготавливаемом изделии и структуре производства должна быть актуальной как для исследователя, так и для всех звеньев производственного маршрута, не подвержена искажению при ее прохождении от начала до конца производственной цепи.

Данные обстоятельства во многом зависят структуры производственного процесса, а именно: от количества обрабатываемых элементов системы, длины прохождения информации, а также от последовательности и характера связей между элементами системы.

Возможности современных средств исследования сложных структурированных систем ограничены описанием функций с наличием или отсутствием их структурной декомпозиции, потоках данных между ними с возможностью их условного перенаправления, например в технологиях IDEF, DFD, ISO 10303 и т.д. Предлагается расширить возможности существующих инструментов с помощью подхода по использованию искусственных нейронных сетей.

**ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ
НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧАХ
ИССЛЕДОВАНИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ
МОДЕЛИ ДОКУМЕНТООБОРОТА
ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ**

Проведем анализ производственного процесса, условно разделенного на пять последовательных этапов (рис. 1):

- проектирование (определение компонентов разрабатываемой модели изделия, их свойств и функций);
- конструирование (определение формы, размеров и взаимного расположения элементов модели изделия);
- разработка технологии (разработка и определение методов, процессов и материалов, участвующих в производстве изделия);
- технологическая подготовка производства (подготовка производственных мощностей предприятия и создание оснастки для обработки заготовок изделия, выпуск плана загрузки производственных цехов);
- производство (создание изделия).

При исследовании систем важную роль играет выбранная методология. Используем методологию функционального моделирования систем IDEF0 [1]. Она позволяет представить любую систему как совокупность соединенных между собой функциональных блоков, преобразующих входную информацию в выходную под воздействием управляющих сигналов с привлечением ресурсов к процессу преобразования [2].

Рассмотрим документооборот производственного предприятия АО «НПП «Сигнал». В нотации методологии IDEF0 система будет иметь вид, представленный на рисунке 2.



Рис. 1. Условный производственный процесс

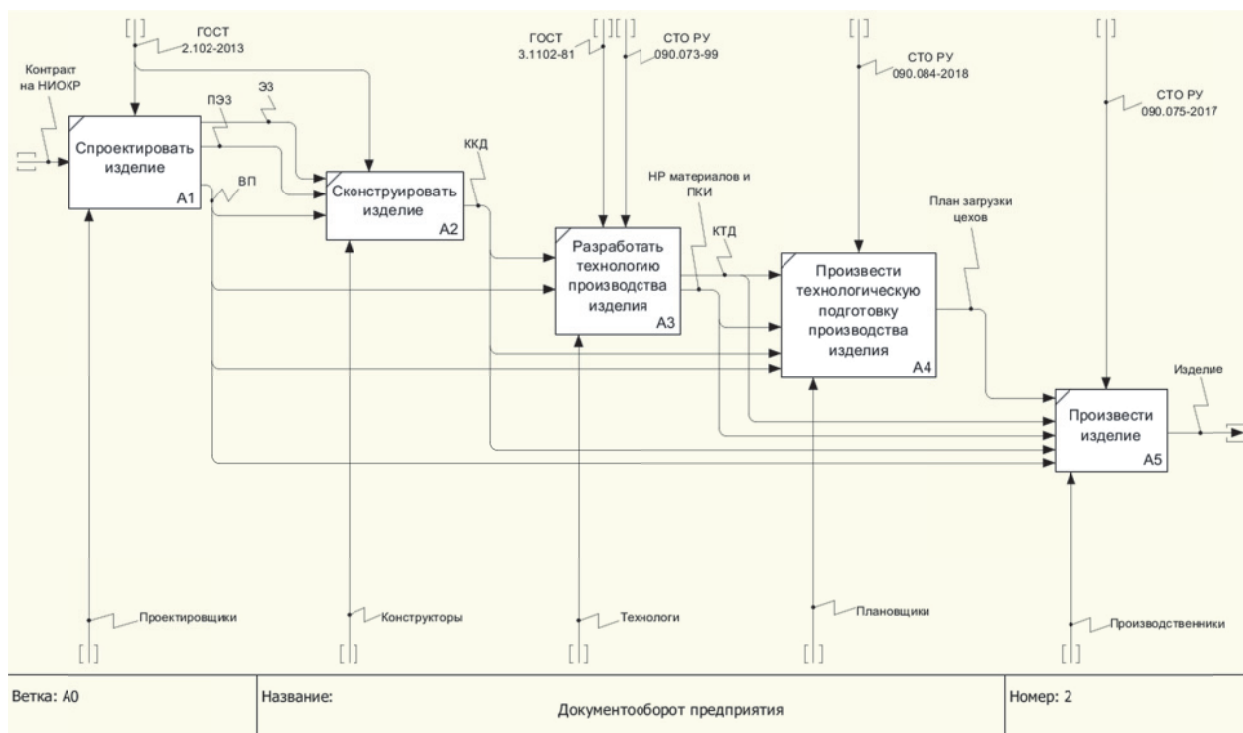


Рис. 2. Структура документооборота производственного предприятия по методологии IDEF0

Как правило, производственный процесс начинается с получения предприятием контракта на НИОКР, после чего отдел проектирования выпускает ряд фундаментальных конструкторских документов для производства изделия, одними из которых являются схема электрическая принципиальная (ЭЗ), перечень элементов (ПЭЗ, может входить в состав ЭЗ) и ведомость покупных элементов (ВП). Процесс создания документов происходит, согласно требованиям ГОСТ 2.102-2013 [3]. Данные документы передаются в конструкторский отдел.

Далее, руководствуясь тем же ГОСТ, конструкторами выпускается комплект конструкторской документации (ККД), рассылаемой всем остальным участникам далее по производственной цепи.

На основе ККД становится возможным выпуск комплекта технологической документации (КТД) и результатов расчетов норм расхода материалов и покупных комплектующих изделий (НР материалов и ПКИ). Процесс создания КТД и НР материалов и ПКИ руководствуется требованиями ГОСТ 3.1102-81 [4] и внутренним стандартом предприятия СТО РУ 090.073-99 [5]. Созданная КТД и НР материалов и ПКИ рассылаются далее всем участникам производственной цепи.

Затем, по требованиям СТО РУ 090.084-2018 [6], отделом планирования производства, на ос-

нове полученной ККД и КТД с НР материалов и ПКИ выпускается план загрузки цехов предприятия, согласно которому должна быть произведена наладка производственных линий предприятия для выпуска нового изделия, а также создание оснастки для обработки заготовок изделия.

Информация об изделии в виде документации, полученная на всех стадиях, описанных выше, используется для непосредственного производства изделия.

При исследовании систем выявлены недостатки данного подхода к моделированию, а именно:

- часто структура моделируемых систем становится сложной ввиду наличия многоуровневого подхода к их построению по методологии IDEF0;

- необходимо запоминать историю предыдущих состояний системы, что вызывает затруднения при создании новой системы;

- обработка статистической информации и создание объективной классификации полученных данных затруднено ввиду специфики построения системы, а также из-за требований к изменению текущего состояния системы в реальном режиме времени [7];

- созданные модели на основе функционального подхода не содержат в себе обоснования формирования данных в отдельных ее элементах.

Решить данные недостатки предлагается с помощью подхода с использованием аппарата искусственных нейронных сетей (ИНС).

Отличительной особенностью нейронносетевой структуры является использование искусственного нейрона [8] как отдельного элемента системы. Данные в подобных системах обрабатываются по единообразному алгоритму, связи между элементами носят одинаковый характер, благодаря чему становится математически обоснованным использование данного подхода к статистическим исследованиям результатов моделирования систем на основе искусственных нейронов [9, 10].

Также особенностью ИНС является агрегация отличительных признаков входных данных, их смысловое объединение и усложнение на последующих слоях ИНС.

Кроме того, ИНС включает предыдущие результаты работы системы в последующие, что позволяет корректировать и предсказывать последующий результат работы системы [11].

Данные обстоятельства позволяют использовать ИНС в качестве инструмента моделирования систем в реальном масштабе времени без необходимости запоминать историю предыдущих состояний моделируемой системы.

При использовании ИНС в качестве инструмента функционального моделирования системы документооборота производственного предприятия в реальном режиме времени следует придерживаться нескольких моментов:

- каждый нейрон на каждом слое является уникальным;
- один и тот же нейрон на разных слоях может повторяться (смысл данного момента в том, что одна и та же сущность в процессе работы модели может проходить многократную обработку);
- для каждого этапа производственного про-

цесса строится собственная нейросетевая модель; - поскольку информация, распространяемая в ИНС, объединяет все свойства, получаемые при прохождении через нейроны, то для сохранения эффекта веерной рассылки информации остальным звеньям производственного процесса достаточно отправить полученную информацию только одному из них. Важна лишь последовательность ее обработки.

Придерживаясь данных моментов, становится возможным применение ИНС в качестве инструмента функционального моделирования систем.

Этап производственного процесса «проектирование» документооборота производственного предприятия в нотации нейронных сетей представлен на рисунке 3.

На данном этапе разрабатываются документы ЭЗ (схема электрическая принципиальная) и ПЭЗ (перечень элементов). На их основе в дальнейшем выпускается совмещенный документ, содержащий в себе информацию от ЭЗ и ПЭЗ, а также ВП (ведомость покупных изделий).

Далее полученные документы участвуют при конструировании изделия (рис. 4).

На этапе конструирования постепенно происходит усложнение информации об изделии:

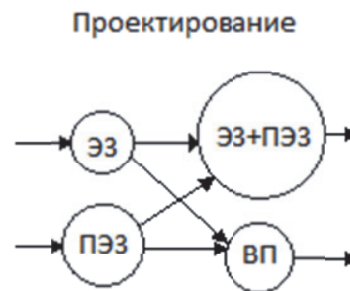


Рис. 3. Модель ИНС этапа «Проектирование»

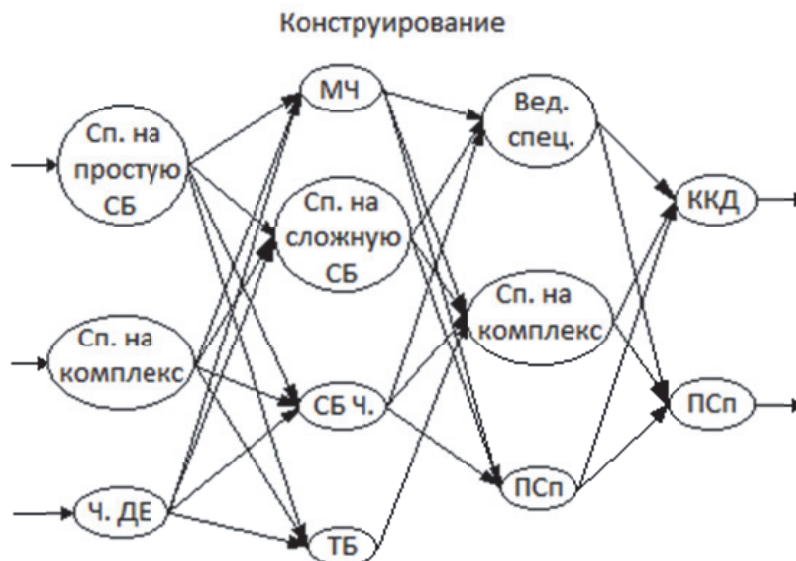


Рис. 4. Модель ИНС этапа «Конструирование»

от спецификаций на простую сборочную единицу (Сп. на простую СБ) и чертежей деталей (Ч. ДЕ) до спецификаций на сложную сборочную единицу (Сп. на сложную СБ), спецификаций на комплекс (Сп. на комплекс), монтажных чертежей (МЧ) и таблиц соединений (ТБ). Необходимая информация для дальнейшей организации производственного процесса содержится в ведомости спецификаций (Вед. спец.), спецификации на комплекс и производственной спецификации (ПСп), которые объединяются в комплект конструкторской документации (ККД), рассылаемой всем последующим участникам производственного процесса. Производственная спецификация участвует в непрерывной разработке вплоть до момента выпуска комплекта конструкторской документации.

При проектировании технологии изготовления изделия формируются такие документы, как маршрутные карты технологических процессов (МК), карты эскизов (КЭ) и карты типовых технологических процессов (КТТП). Информация об изделии, полученная на этапе «Технология», также используется в дальнейшем формировании производственной спецификации. Основной задачей данного этапа является создание комплекта технологической документации (КТД) и формирование ведомости удельных норм расхода материалов и комплектующих изделий (ВУН) (рис. 5).

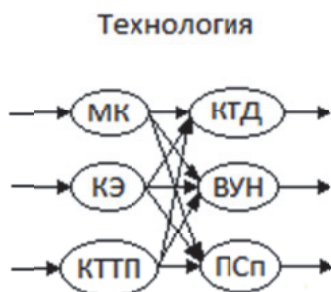


Рис. 5. Модель ИНС этапа «Технология»

На этапе технологической подготовки производства на основе полученной конструкторско-технологической информации в виде производственной спецификации выполняется подготовка производственной программы (ППр), вследствие чего становится возможным выпуск документов для организации процесса производства в цехах предприятия, таких как план запуска-выпуска изделия по цехам и производственная программа (ПРп) (рис. 6).

Заключительной частью производственного процесса является подготовка информации о закупках материалов и покупных изделий в соответствии с конструкторско-технологической информацией с учетом норм расхода.

Таким образом, получено нейросетевое представление системы документооборота производственного предприятия, выполненное как система связанных между собой ИНС-моделей (рис. 7).

Полученная модель пригодна для воплощения в виде программы ЭВМ с помощью всех известных на сегодняшний день инструментов разработки моделей ИНС.

Одним из преимуществ использования нейронно-сетевых подходов при моделировании систем является возможность смыслового

Технологическая подготовка производства



Рис. 6. Модель ИНС этапа «Технологическая подготовка производства»

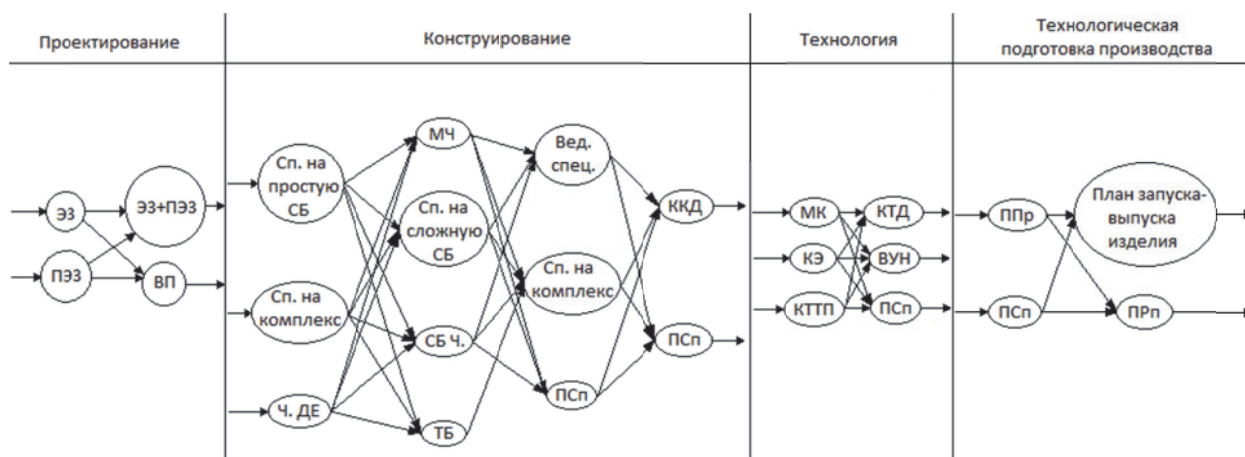


Рис. 7. Модель системы документооборота производственного предприятия с использованием аппарата искусственных нейронных сетей

дублирования нейронов на разных слоях ИНС, что позволяет отражать изменение информации в одном и том же носителе-нейроне без добавления операторов условия перенаправления потока данных (например, в BPMN-подходе) или внедрения обратной связи (например, в IDEF0).

Другим преимуществом данного подхода является наглядность отражения влияния различных факторов на формирование нейронного носителя информации на каждом последующем слое ИНС, что на практике удобно при моделировании систем с наличием структурной декомпозиции функциональных блоков.

Наконец, наиболее значительным преимуществом данного подхода по сравнению с традиционными методологиями является легкость в реализации полученной ИНС-модели в виде программного обеспечения для ЭВМ, чему на данный момент значительно способствует большая номенклатура современных и доступных библиотек и средств разработки моделей ИНС.

ВЫВОДЫ

- Рассмотрена система документооборота производственного предприятия с помощью методологии функционального моделирования систем IDEF0, выявлены ее недостатки для моделирования систем в режиме реального времени;

- Предложена методология ИНС в качестве инструмента функционального моделирования системы документооборота производственного предприятия в режиме реального времени, сформулированы требования к созданию модели;

- Получена новая структура документооборота производственного предприятия на основе ИНС, позволяющая устранить недостатки модели, построенной по методологии IDEF0.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Integration Definition for Function Modeling (IDEF0) // Draft Federal Information Processing Standards Publication 183.
2. Automation of strategy using IDEF0 - A proof of concept / *Waissi, G.R., Demir, M., Humble, J.E., Lev, B.* // Operations Research Perspectives. 2015. pp. 106-113.
3. ГОСТ 2.102-2013. ЕСКД. Виды и комплектность конструкторской документации.
4. ГОСТ 3.1102-81. ЕСТД. Стадии разработки и виды документов.
5. СТО РУ 090.073-99. Состав и комплектность технологических документов. Порядок и правила разработки технологического процесса.
6. СТО РУ 090.084-2018. Управление выпуском при производстве продукции.

7. *Емельянов В.Ю., Кругликов В.К.* Теория принятия решений: базовые методы: учебное пособие для вузов. С-Пб.: БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, 2006.
8. *McCulloch W.S., Pitts W.* A logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity // Bulletin of Mathematical Biology Vol. 52, №1/2. 1990. pp. 99-115.
9. *Емельянов В.Ю., Докучаева А.Н.* Исследование методов поиска приближенного решения в задаче сокращения трудоемкости статистического моделирования // Информационно-управляющие системы. 2015. № 1(74). С. 43-49.
10. *Васильков Д.В., Тариков И.Я., Миллер А.С.* Повышение надежности и оперативности производственной технологической системы за счет интеллектуальной оценки запросов с применением механизмов искусственных нейронных сетей // Металлообработка. 2017. № 3(99). С. 58-64.
11. *Емельянов В.Ю., Лиховет Н.О.* Адаптивный алгоритм статистического моделирования // Известия Российской академии ракетных и артиллерийских наук. 2008. № 2(58). С. 54-57.

REFERENCES

1. Integration Definition for Function Modeling (IDEF0) // Draft Federal Information Processing Standards Publication 183.
2. Automation of strategy using IDEF0 - A proof of concept / *Waissi, G.R., Demir, M., Humble, J.E., Lev, B.* // Operations Research Perspectives. 2015. pp. 106-113.
3. GOST 2.102-2013. Unified system for design documentation. Types and sets of design documentation.
4. GOST 3.1102-81. Unified system for technological documentation. Stages of designing and types of documents.
5. STO RU 090.073-99. The composition and completeness of technological documents. The procedure and rules for the development process.
6. STO RU 090.084-2018. Release management in the manufacture of products.
7. *Emelyanov V.Y., Kruglikov V.K.* Decision theory: basic methods: a tutorial for universities // S-Pb: BG TU Voenmeh D.F. Ustinov, 2006.
8. *McCulloch W.S., Pitts W.* A logical Calculus of Ideas Immanent in Nervous Activity // Bulletin of Mathematical Biology Vol. 52, №1/2. 1990. Pp. 99-115.
9. *Emelyanov V.Y., Dokuchaeva A.N.* Searching for Approximate Solutions in Statistical Modeling Complexity Reduction // Informazionno-upravlyayushie sistemy, 2015, № 1(74), pp. 43-49.
10. *Vasilkov D.V., Tarikov I.YA., Miller A.S.* Increase of reliability and efficiency of production technological system at the expense of an intellectual assessment of inquiries with use of mechanisms of artificial neural networks // Metallobrabotka 2017, № 3(99), pp. 58-64.
11. *Emeljanov V. Y., Likhovet N.O.* Adaptive Statistical Modeling Algorithm // Izvestiia Rossiiskoi akademii raketnykh i artilleriiskikh nauk, 2008, № 4(58), pp. 54-57.

**THE STUDY OF THE ENTERPRISE DOCUMENT FLOW STRUCTURE
USING ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS**

© 2019 M.V. Ivanov

Baltic State Technical University "Voenmeh" named after D.F. Ustinov
Saint-Petersburg

An approach to the use of artificial neural networks in the study of the functional model of the workflow of an industrial enterprise is proposed. The functional model of the workflow of an industrial enterprise is considered using the IDEF0 functional modeling methodology. Identified the disadvantages of this methodology in the problems of modeling systems in real time. A method of modeling using the apparatus of artificial neural networks is proposed. Requirements for the construction and modeling of systems using the approach to the use of artificial neural networks are formulated, a new structure for the workflow of a manufacturing enterprise is proposed.

Keywords: manufacturing enterprise, Production, document flow, system, model, methodology, IDEF0, artificial neural network, artificial neuron.