

Анализ методов моделирования производственных систем в полиграфии

П.К. Иванов,
к.т.н., доцент кафедры АПП

Введение

Развитие промышленное производства в XXI веке имеет устойчивую тенденцию к образованию специального сегмента промышленных предприятий, ориентированных на позаказное изготовление продукции. Наряду с массовым конвейерным многотиражным производством: например, основные продукты питания, массовые автомобили, бытовая техника и прочее, прочно закрепляются на производственных рынках предприятия, производящие частично уникальную продукцию ограниченными тиражами. К таким производствам в настоящее время можно отнести швейную, полиграфическую, обувную промышленности. Тенденции к переходу к позаказному производству проявляются в мебельной отрасли, производстве некоторых строительных материалов и бытовой техники. Бурное развитие технологий может привести в ближайшее время к аналогичным тенденциям и в других областях производства.

Позаказное производство характеризуется относительной уникальностью изготавливаемой продукции, тенденцией к уменьшению тиража продукции.

Основные задачи любого производственного предприятия: изготовить продукцию быстрее, лучшего качества, с меньшими затратами. Повышение эффективности высокотиражного производства в большей мере строится на применении технологических и технических методов для оптимизации эффективности производственной системы. Схемы управления производством линейные, простые по своей структуре. Оптимизация структуры управления дает с точки зрения повышения эффективности несоизмеримо меньший эффект, чем техническая и технологическая модернизация.

Эффективность позаказного производства определяется не только технологическими и техническими параметрами производственных систем, но и существенно, а порой полностью зависит от эффективности управления производством. Подготовка конструкторской, технической и технологической составляющих производства продукции становятся частью производственного цикла изготовления готовой продукции и требуют особенных современных методов управления их разработкой. Меняются принципы снабжения производства исходными материалами, полуфабрикатами, схемы внутренней и внешней логистики предприятия, управления складским хозяйством.

Вместе с тем широко применяемые для повышения эффективности производства системы автоматизированного управления развиваются в направлении от множества разрозненных инструментов управления к всеобъемлющим комплексам, охватывающим конструкторскую, экономическую, производственную, логистическую и снабженческую компоненты производства.

Производственно-технологическая модель полиграфического предприятия

Построим производственно-технологическую модель полиграфического предприятия. Любое производственное предприятие можно представить в виде двух составляющих: объекта управления и управляющей системы, связанных между собой каналами передачи управляющих воздействий, рис. 1 [5].

Производственные особенности предприятия определяют парком используемого оборудования. С другой стороны, технологические особенности производства зависят от спектра полиграфических заказов, производящихся на данном конкретном предприятии.



Рис. 1. Структурная схема моделирования производственного предприятия

Каждый полиграфический заказ является множеством составляющих его технологических операций, представляемых в виде направленного графа, рис. 2 и 3.

Так как на каждой единице оборудования может в конкретный момент времени выполняться не более одной технологической операции, то количество заказов на предприятии в стадии производства не может превышать количества оборудования на данном предприятии.

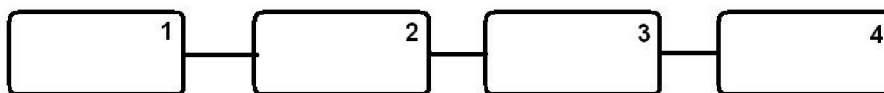


Рис. 2. Линейный полиграфический заказ

При этом, с технологической точки зрения, понятие «оборудование» включает в себя не только сами полиграфические машины, но и механизмы для внутренней и внешней логистики и структурные подразделения типографии, такие, как снабжение и склады материалов и полуфабрикатов. И действительно, если полиграфический заказ не обеспечен материалами, то не могут начаться производственные технологические операции этого заказа, которые нуждаются в этих материалах. Но сотрудник подразделения снабжения в каждый отдельный момент времени может обработать только один полиграфический заказ. Хотя, в последствии он может объединить требования на закупку одинаковых материалов для разных заказов в одну заявку.

Работник склада может в конкретный момент времени обработать одно требование на материал, хотя и выдача необходимых материалов может быть выполнена в результате одного действия.

Таким образом, в каждый момент времени на предприятии может быть занято несколько единиц оборудования, в некоторых слу-

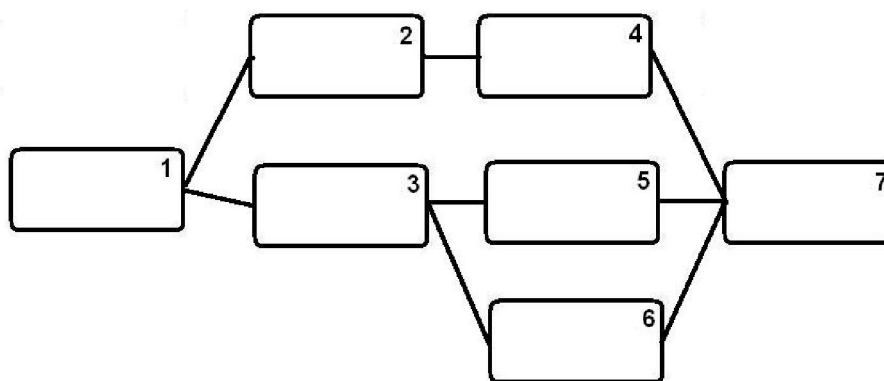


Рис. 3. Ветвящийся полиграфический заказ

чаях — все, и в стадии производства будут находиться несколько заказов, но не более чем количество оборудования на предприятии.

Модель предприятия можно представить в виде динамически изменяющейся двухмерной матрицы. Столбцы матрицы соответствуют оборудованию предприятия, а строки — портфелю заказов предприятия, находящемуся в процессе производства. Парк оборудования предприятия — $\{L\}$ и текущий портфель заказов предприятия, находящихся в стадии производства — $\{R\}$. Будем также понимать под термином «оборудование» полиграфического предприятия не только машины и приспособления, имеющие материальное воплощение, но и такие процессы, которые необходимы при изготовлении полиграфической продукции и требующие затрат материальных, финансовых, энергетических и прочих ресурсов. Такими процессами являются процессы снабжения сырьем и оснасткой, складские процессы, процессы внутренней и внешней логистики.



Рис. 4. Матрица состояния полиграфического предприятия в момент времени $T = t_i$

В работах М.В. Ефимова рассматриваются несколько задач оптимизации работы производства полиграфического предприятия [3, 5]:

- 1) задача о распределении ресурсов;
- 2) задача о загрузке оборудования;
- 3) задача оптимизации обработки информации.

Все эти задачи, фактически, сводятся к оптимизации затрат определенного вида ресурсов, связанного с производственным процессом. Если свести все перечисленные затраты к их денежному выраже-

нию, то перечисленные выше задачи могут быть объединены и сводятся к задаче оптимизации затрат при выполнении технологической операции.

Всякая технологическая операция S_{ij} полиграфического заказа R_j , выполняемая на «оборудовании» L_i , требует затрат для своего осуществления и приносит доход предприятию. Доход от выполнения операции S_{ij} является, в общем случае, случайной величиной, не зависящей от управления производством на предприятии, но зависит от состояния рынка, квалификации сотрудника подразделения продаж и других непроизводственных факторов. Затраты, возникающие при выполнении технологической операции S_j «оборудовании» L_i зависят от управляющих воздействий модели производства полиграфического предприятия на объект управления – производственное подразделение предприятия. Таким образом, управляющая система (рис. 1) позволяет достичь прибыли P_{ij} выполнения технологической операции S_{ij} полиграфического заказа R_j портфеля полиграфических заказов предприятия $\{R\}$ на «оборудовании» L_i парка «оборудования» предприятия $\{L\}$ за счет снижения затрат при выполнении операции. В общем случае P_{ij} – величина случайная, зависящая от параметров выполнения данной технологической операции в конкретный момент времени, от параметров работы оборудования, навыков и квалификации операторов оборудования, качества сырья, материалов, полуфабрикатов и оснастки, параметров выполнения предыдущих и последующих технологических операций на данном оборудовании.



Рис. 5. Матрица состояния полиграфического предприятия в момент времени $T = t_{H1}$

Предположим, парк «оборудования» $\{L\}$ моделируемого предприятия состоит из 5 единиц «оборудования» и в текущий момент времени в производстве находятся 4 полиграфических заказа из портфеля полиграфических заказов предприятия $\{R\}$. Модель предприятия можно представить в виде динамически изменяющейся двухмерной матрицы.

Столбцы матрицы соответствуют «оборудованию» производственного парка предприятия, а строки – портфелю заказов предприятия. Будем считать, что L_1 – изготовление формных пластин на оборудовании СТР, L_2 – печать тиража на офсетной машине, L_3 – лакирование отпечатанных листов, L_4 – резка продукции под формат заказа, L_5 – упаковка готовой продукции.

Размещение технологических операций S_{ij} полиграфического заказа R_j на «оборудовании» L_i в предыдущий момент времени представлено на рис. 4. В текущий момент времени технологические операции будут находиться в производстве в соответствии с матрицей состояния производства полиграфического предприятия, представленной на рис. 5.

Таким образом, в текущий момент времени прибыль предприятия при производстве продукции будет равна сумме прибылей $P_{i,j}(t_n)$ всех операций, находящихся в стадии выполнения.

Прибыль предприятия в процессе функционирования в течение промежутка времени $T = t_m - t_0$ будет равна в случае дискретной модели управления

$$P = \sum_{n=0}^m P_{i,j}(t_n).$$

Или, в случае непрерывной модели управления –

$$P = \int_0^m P_{i,j} dt.$$

Целевая функция описания полиграфического предприятия

Каждый из этапов полиграфического производства может выполняться с применением различных вариантов технологических процессов с применением различного полиграфического оборудования, материалов, оснастки с различными характеристиками. Сочетание различных элементарных производственных решений для каждого этапа производства приводит к большому количеству вариантов производственных технологий, из которых необходимо выбрать лучшую.

При поиске оптимального решения должна быть выбрана числовая характеристика, позволяющая оценить соответствие принятого решения цели, ради которой производится исследование. Такой числовой характеристикой является целевая функция [5].

Для каждой технологической операции можно определить вероятность достижения максимальной прибыли в процессе производства. Значение прибыли при выполнении операции будет находиться в интервале от значения максимального убытка от выполнения операции (возможно в том случае, когда операция выполняется повторно и не оплачивается заказчиком полиграфической продукции) до максимальной прибыли. Распределение вероятности в общем случае можно считать нормальным (рис. 6).

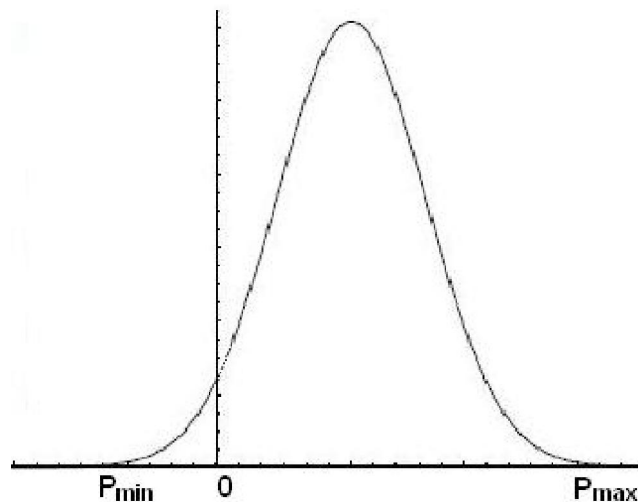


Рис. 6. Распределение вероятности достижения максимальной прибыли при выполнении технологической операции

Нормальное распределение $M(\mu, \sigma)$ характеризуется двумя числами: математическим ожиданием (μ), характеризующим вершину распределения, и стандартным отклонением (σ), описывающим ширину колокола кривой.

Состоянием производственной системы (ПС) будем называть область расположения его в многомерном пространстве состояния. На сложные системы оказывает влияние большое количество факторов (независимых переменных). В качестве меры упорядоченности Q системы P обычно определяют степень отклонения ее состояния от (термодинамического) равновесия, так называемую введенную Шенноном величину «избыточности» [8]:

$$Q = 1 / OЭ_{\phi},$$

где $OЭ_{\phi}$ – фактическая Объединенная Энтропия (ОЭ) системы $OЭ_{\phi}$, $OЭ_{\phi}$ – максимально возможная ОЭ; $Q = 0$, если система находится в состоянии полного беспорядка ($OЭ_{\phi} = OЭ_{\phi}$); $Q = 1$, для идеально упорядоченной системы, $OЭ_{\phi} = 0$.

В системах, как правило, протекают два противоположных процесса: стремление к хаосу, полной беспорядочности и стремление к упорядоченности и управляемости.

Процесс стремления системы (производства полиграфического предприятия) к абсолютному хаосу определяется объединенной энтропией (ОЭ). Противоположный процесс, процесс полной управляемости производственных процессов определяется объединенной негэнтропией (ОНГ).

Энтропия, в общем, является показателем неопределенности, беспорядка, разнообразия, хаоса, равновесия в системе. Негэнтропию часто ошибочно определяют как энтропию с отрицательным знаком. Негэнтропия (ОНГ) действительно измеряется в тех же единицах как энтропия (например, в битах). Направление ее действительно противоположное энтропии. Ее увеличение вызывает такое же уменьшение энтропии. Однако эти величины изменяются в системе по самостоятельным закономерностям и их абсолютные значения мало зависят друг от друга. Негэнтропия является мерой порядка, упорядоченности, внутренней структуры, связанной информации. При увеличении обобщенной энтропии (ОЭ) увеличивается размерность системы (количество независимых переменных, факторов) и их масштабы, а также возможности поиска более эффективных решений. Одновременно с ростом ОЭ увеличивается и неопределенность системы, вероятность принятия неправильного решения, а также расширяются размеры пространства поиска. Для того чтобы уменьшить неопределенность системы, необходимо ввести в нее обобщенную негэнтропию (ОНГ), информацию, упорядоченность.

Таким образом, при прогрессивном развитии в системе увеличивается больше ОНГ, чем ОЭ. При деструкции больше увеличивается ОЭ. Имеются разные комбинации одновременного изменения ОЭ и ОНГ. Если система обладает небольшой ОЭ, то и ОНГ туда ввести можно мало и для ее развития нет условий ($ОНГ < ОЭ$) [8].

В результате управляющего воздействия системы управления на объект управления возможно изменение параметров нормального распределения вероятности достижения максимальной прибыли выполнения технологической операции. Состояние системы до управляющего воздействия характеризуется математическим ожиданием (μ'), характеризующим вершину распределения, и дисперсией (стандартным отклонением) (σ'), описывающим ширину колокола кривой.

ОЭ левой кривой, характеризующей систему без управляющих воздействий, больше ОЭ системы с воздействием управляющего контура (правая кривая). Соответственно, ОНГ для системы с воздействием управляющего контура (рис. 1) будет больше ОНГ «хаотичной» системы. Таким образом, для подобных систем негэнтропия может являться целевой функцией.

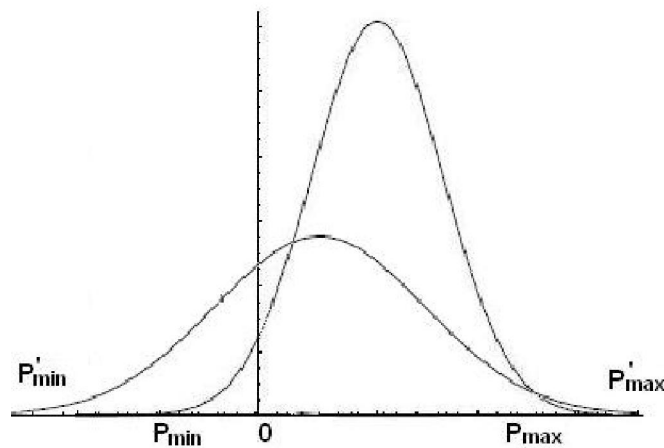


Рис. 7. Влияние управляющего воздействия системы управления на объект управления

Использование искусственных нейронных сетей для оптимизации производственных систем

Выбор инструмента оптимизации

Выбор классических инструментов для целей построения алгоритмов оптимизации достаточно детально исследован и разработан [1], [2], [3], [6], [9], [10], [11]. Вместе с тем существующие методы не всегда дают эффективное решение поставленных задач вычислительными средствами и в условиях динамических возмущений.

Аппарат нечетких множеств и нечеткой логики более 10 лет с успехом применяется для решения задач, в которых исходные данные являются ненадежными и слабо формализованными. Сильные стороны такого подхода:

- описание условий и методов решения задачи на языке, близком к естественному;
- универсальность: согласно теореме FAT (Fuzzy Approximation Theorem), доказанной Б. Коско (B. Kosko) в 1993 г., любая математическая система может быть аппроксимирована системой, основанной на нечеткой логике;
- эффективность (связана с универсальностью), поясняемая рядом теорем, аналогичных теоремам о полноте для искусственных нейронных сетей, например, теоремой вида: для каждой вещественной непрерывной функции g , заданной на компакте U и для произвольного $\varepsilon > 0$ существует нечеткая экспертная система, формирующая выходную функцию $f(x)$ такую, что $\sup \|g(x) - f(x)\| < \varepsilon$, где через $\|\dots\|$ обозначается расстояние между функциями.

Вместе с тем для нечетких экспертных и управляющих систем характерны и определенные недостатки:

- исходный набор постулируемых нечетких правил формулируется экспертом (человеком) и может оказаться неполным или противоречивым;
- вид и параметры функций принадлежности, описывающих входные и выходные переменные системы, выбираются субъективно и могут оказаться не вполне отражающими реальную действительность.

Для устранения, по крайней мере, частично указанных недостатков, рядом авторов было предложено выполнять нечеткие экспертные и управляющие системы адаптивными и корректируя, по мере работы системы, и правила, и параметры функций принадлежности. Среди нескольких вариантов такой адаптации одним из самых удачных, по видимому, является метод так называемых гибридных нейронных сетей.

Гибридная нейронная сеть формально по структуре идентична многослойной нейронной сети с обучением, например, по алгоритму обратного распространения ошибки, но скрытые слои в ней соответствуют этапам функционирования нечеткой системы. Так:

- 1-й слой нейронов выполняет функцию введения нечеткости на основе заданных функций принадлежности входов;
- 2-й слой отображает совокупность нечетких правил;
- 3-й слой выполняет функцию приведения к четкости.

Каждый из этих слоев характеризуется набором параметров (параметрами функций принадлежности, нечетких решающих правил, активационных функций, весами связей), настройка которых производится, так же, как для обычных нейронных сетей.

Топология искусственных нейронных сетей (ИНС)

С точки зрения топологии, среди нейронных сетей, сформированных на основе нейроподобных элементов, можно выделить три основных типа:

- полносвязные сети (рис. 8, а);
- многослойные или слоистые сети (рис. 8, б);
- слабосвязные сети (нейронные сети с локальными связями) (рис. 8, в).

Полносвязные сети представляют собой ИНС, каждый нейрон которой передает свой выходной сигнал остальным нейронам, в том числе и самому себе. Все входные сигналы подаются всем нейронам. Выходными сигналами сети могут быть все или некоторые выходные сигналы нейронов после нескольких тактов функционирования сети.

В многослойных сетях нейроны объединяются в слои. Слой содержит совокупность нейронов с едиными входными сигналами. Чис-

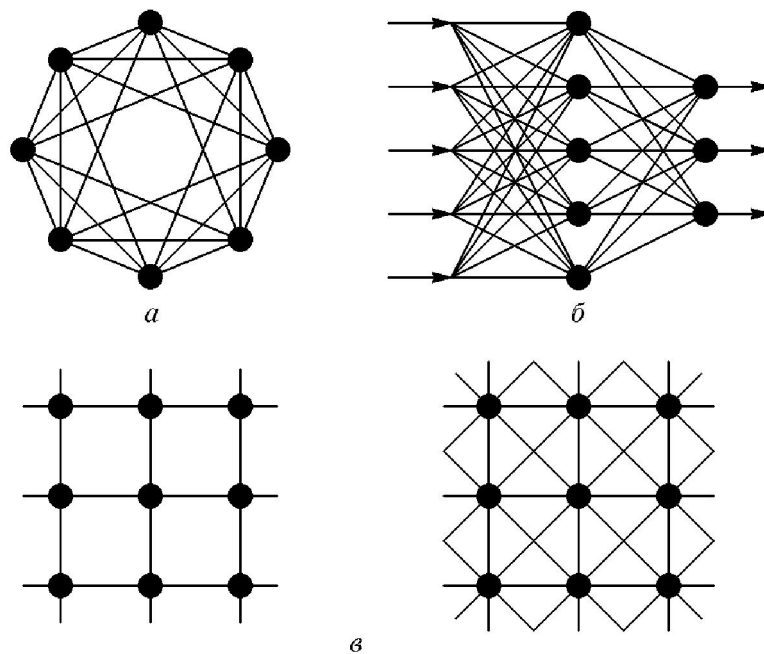


Рис. 8. Топология искусственных нейронных сетей

ло нейронов в каждом слое может быть любым и никак заранее не связано с количеством нейронов в других слоях. В общем случае сеть состоит из Q слоев, пронумерованных слева направо. Внешние входные сигналы подаются на входы нейронов первого слоя (входной слой часто нумеруют как нулевой), а выходами сети являются выходные сигналы последнего слоя. Вход нейронной сети можно рассматривать как выход «нулевого слоя» вырожденных нейронов, которые служат лишь в качестве распределительных точек, суммирования и преобразования сигналов здесь не производится. Кроме входного и выходного слоев в многослойной нейронной сети есть один или несколько промежуточных (скрытых) слоев. Связи от выходов нейронов некоторого слоя ($q + 1$) называются последовательными.

В свою очередь, среди слоистых сетей выделяют следующие типы:

1. Монотонные. Это специальный частный случай слоистых сетей с дополнительными условиями на связи и элементы. Каждый слой, кроме последнего (выходного), разбит на два блока: возбуждающий (В) и тормозящий. Связи между блоками тоже разделяются на тормозящие и возбуждающие. Если от блока А к блоку С ведут только возбуждающие связи, то это означает, что любой выходной сигнал блока является монотонной неубывающей функцией любого выходного сигнала блока А.

Если же эти связи только тормозящие, то любой выходной сигнал блока С является невозрастающей функцией любого выходного сигнала блока А. Для элементов монотонных сетей необходима монотонная зависимость выходного сигнала элемента от параметров входных сигналов.

2. Сети без обратных связей. В таких сетях нейроны входного слоя получают входные сигналы, преобразуют их и передают нейронам 1-го скрытого слоя, далее срабатывает 1-й скрытый слой и т. д. до Q -го, который выдает выходные сигналы для интерпретатора и пользователя. Если не оговорено противное, то каждый выходной сигнал i -го слоя подается на вход всех нейронов $(q + 1)$ -го слоя; однако возможен вариант соединения (1-го слоя с произвольным $(q + p)$ -м слоем. Следует отметить, что классическим вариантом слоистых сетей являются сети прямого распространения (рис. 9).

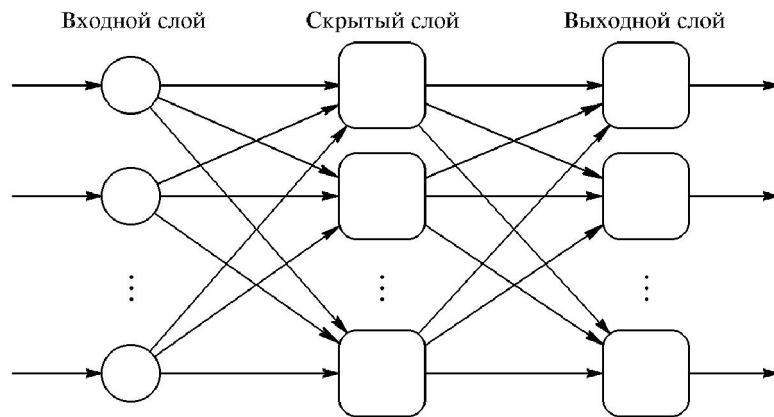


Рис. 9. Многослойная нейронная сеть прямого распространения

3. Сети с обратными связями. Это сети, у которых информация с последующих слоев передается на предыдущие.

Проблема классификации может быть дополнена разделением сетей на **бинарные** и **аналоговые**. Бинарные НС, в отличие от аналоговых, оперируют только двоичными сигналами. Выход каждого нейрона может принимать два значения: логический ноль (заторможенное состояние) или логическая единица (возбужденное состояние).

Еще одна классификация — разделение ИНС на асинхронные и синхронные. Для асинхронных ИНС характерно изменение состояния в каждый момент времени только одного нейрона. В синхронных НС состояние меняется сразу у целой группы нейронов, как правило, у всего слоя. Алгоритмически ход времени в НС задается итерационным выполнением однотипных действий над нейронами.

Сети можно классифицировать также по числу слоев. Теоретически число слоев и число нейронов в каждом слое может быть про-

извольным, однако фактически оно ограничено вычислительными ресурсами компьютера, на котором реализуется ИНС. Чем сложнее ИНС, тем более сложные и масштабнее задачи она позволяет решить.

Выбор структуры ИНС осуществляется в соответствии с особенностями и сложностью решаемой задачи. Для решения некоторых отдельных типов задач уже существуют оптимальные, на сегодняшний день, конфигурации, описанные в приложении. Если же задача не может быть сведена ни к одному из известных типов, разработчику приходится решать сложную проблему синтеза новой конфигурации. При этом он руководствуется несколькими основополагающими принципами:

- возможности сети возрастают с увеличением числа слоев сети и числа нейронов в них;
- введение обратных связей наряду с увеличением возможностей сети поднимает вопрос о так называемой динамической устойчивости сети;
- сложность алгоритмов функционирования сети (в том числе, например, введение нескольких типов синапсов (возбуждающих, тормозящих и др.) также способствует усилению возможностей ИНС.

Вопрос о необходимых и достаточных свойствах сети для решения того или иного рода задач представляет собой отдельное направление. Так как проблема синтеза ИНС сильно зависит от решаемой задачи, дать общие подробные рекомендации затруднительно. В большинстве случаев оптимальный вариант получается на основе интуитивного подбора, хотя в литературе [6] приведены доказательства того, что для любого алгоритма существует нейронная сеть, которая может его реализовать.

Для решения поставленной задачи оптимизации производственной системы с ОНЭ в качестве целевой функции необходима разработка методик оптимизации с использованием в качестве адаптируемой модели оптимизирующего основного контура ИНС с локальными связями (слабосвязанных). Это следует уже из графического представления моделей производственных систем полиграфической отрасли (рис. 4 и 5) и схем топологии ИНС (рис. 8, в).

Создаваемая модель должна быть ИНС без обратных связей, что вытекает из рассуждений о построении модели производственной системы предприятия полиграфической отрасли и ее графических интерпретаций.

Использование ОНЭ в качестве обобщенной целевой функции модели производственной системы приводит к выводу, что ИНС не может быть бинарной, то есть является аналоговой.

Скорее всего, применяемая ИНС должна быть синхронной. Это следует из принципов построения модели ПС, в которой изменение

состояния происходит одновременно у группы центров обработки P_{ij} (рис. 4 и 5) и характеризуется особенностями ПС полиграфического назначения.

Необходим последующий глубокий и детальный анализ существующих синтезированных ИНС с целью подбора подходящих моделей среди существующих. Синтез специальных ИНС на текущем этапе исследований не кажется целесообразным.

Выводы

Задача оптимизации производственных систем в полиграфии является высокоактуальной в настоящее время. Она требует углубленных расширенных исследований в трех взаимосвязанных областях:

- топологическое построение моделей производственных систем в применении к специфическим условиям, характерным, в том числе и для систем в полиграфической отрасли;
- детальное построение, исследование и обоснование ОНЭ как обобщенной целевой функции ПС;
- выбор подходящих ИНС для адаптивного управляющего контура модели ПС, исследования возможностей и поведения таких сетей, разработки алгоритмов динамической адаптации.

Исследования и разработки моделей ПС, ОНЭ производственной системы как обобщенной целевой функции, выбор ИНС направлены на достижение целей выявления методов оптимизации, обладающих наилучшими характеристиками, в первую очередь:

- скоростью сходимости;
- устойчивостью поведения при случайных возмущениях;
- простотой применения в прикладных целях;
- эффективностью вычисления на компьютерах различной мощности.

Библиографический список

1. *Алиев Р.А.* Производственные системы с искусственным интеллектом / Р.А. Алиев, Н.М. Абдикеев, М.М. Шахназаров. — М. : Радио и связь, 1990. — 264 с.
2. *Антонов В.Н.* Адаптивное управление в технических системах / В.Н. Антонов, В.А. Терехов, И.Ю. Тюкин. — СПб. : изд. С.-Петербургского университета, 2001. — 240 с.
3. *Ефимов М.В.* Автоматизированное управление полиграфическим производством / М.В. Ефимов. — М. : Мир книги, 1998. — 416 с.
4. *Ефимов М.В.* Теоретические основы переработки информации в полиграфии / М.В. Ефимов. — Кн. 1. — М. : МГУП, 2001. — 340 с.
5. *Ефимов М.В.* Теоретические основы переработки информации в полиграфии / М.В. Ефимов. — Кн. 2. — М. : МГУП, 2001. — 416 с.

6. *Круглов В.В.* Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли, Р.Ю. Голунов. – М., 2005. – 216 с.

7. *Кокшот П.* Информация, деньги, стоимость / П. Кокшот, М. Коттрелл, И. Райт, Р. Майкельсон. – М. : Изд. экономической информации, 2008. – 324 с.

8. *Liiv E.* Infodynamics. Generalized entropy and negentropy. – Tallinn: Uhiselu, 1998. – 200 p.

9. *Потапов М.М.* Методы оптимизации : конспект лекций / М.М. Потапов. – М. : МГУ ВМиК, 2003. – 82 с.

10. *Чертовской В.Д.* Теоретические основы автоматизированного управления. Процедурное представление / В.Д. Чертовской. – М. : МГУП, 2004. – 218 с.

11. *Уайт О.У.* Управление производством и материальными запасами в век ЭВМ / О.У. Уайт. – М. : Прогресс, 1978. – 302 с.