

УДК 004.896

## Управление проектами по разработке гидромеханических систем с использованием нейросетевых и нейро-нечетких моделей

Черновалова М. В.

**Постановка задачи:** в условиях инновационной модернизации гидромеханических систем актуальной становится задача сокращения времени выполнения проектов по их разработке с учетом неопределенности различных внешних и внутренних факторов, которые снижают эффективность известных методов теории расписаний. **Целью работы** является сокращение времени выполнения проектов по разработке инновационных гидромеханических систем с использованием интеллектуальных методов и моделей. Для получения прогнозных оценок при управлении проектами в условиях малого объема статистической и экспертной информации предлагается использовать нейросетевые модели (НСМ) типа GRNN (Generalized Regression Neural Network). Если же требуется учитывать мнение экспертов при построении моделей и проводить их обучение на основе имеющегося набора аналитических данных, то предлагается использовать нейро-нечеткие модели (ННМ) типа ANFIS (Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System). **Используемые методы:** решение задачи управления проектами по разработке инновационных гидромеханических систем в условиях неопределенности осуществляется с помощью алгоритма диспетчеризации List Scheduling и метода критического пути, усовершенствованных на основе применения НСМ и ННМ. **Новизна:** элементами новизны исследования является применение НСМ и ННМ при планировании проектов указанного типа, учитывающих результаты предшествующих работ. **Результат:** использование представленного решения позволяет оптимизировать длительность выполнения проектов по разработке инновационных гидродинамических систем в условиях неопределенности. Результаты проведенных испытаний показали, что применение разработанных моделей позволяет сократить время выполнения проектов в среднем на 11 % относительно плановых расписаний и в среднем на 27 % относительно реальных расписаний, не учитывающих взаимовлияние характеристик работ проекта. **Практическая значимость:** представленные НСМ и ННМ предполагается использовать для управления проектами по разработке инновационных гидромеханических систем.

**Ключевые слова:** управление проектом, нейросетевые модели, нейро-нечеткие модели, гидромеханическая система.

### Актуальность

Обеспечение конкурентоспособности отечественной промышленной продукции на основе снижения различных издержек невозможно без использования средств автоматизации производства. Так, в государственной программе Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности», утвержденной постановлением Правительства РФ № 328 от 15.04.2014 г. (в редакции постановления Правительства РФ № 382-13 от 31.03.2017 г.) выделяется задача автоматизации процессов сбора и обработки информации, необходимой для обеспечения реализации промышленной политики, предполагающей увеличение объема добавленной стоимости, создания

#### Библиографическая ссылка на статью:

Черновалова М. В. Управление проектами по разработке гидромеханических систем с использованием нейросетевых и нейро-нечетких моделей // Системы управления, связи и безопасности. 2018. № 2. С. 108–120. URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2018-02/07-Chernovalova>

#### Reference for citation:

Chernovalova M. V. Project Management for Hydromechanical System Development with Neural Network Models. *Systems of Control, Communication and Security*, 2018, no. 2, pp. 108–120. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2018-02/07-Chernovalova> (in Russian).

высокопроизводительных рабочих мест, повышения гибкости производственных процессов [1]. Комплексная автоматизация производства также способствует реализации программы «Цифровая экономика Российской Федерации», утвержденной распоряжением Правительства РФ № 1632-р от 28.07.2017 г., которая предполагает создание единого информационного пространства. Одними из основных сквозных цифровых технологий, включенных в данную программу, являются интеллектуальные нейросетевые технологии [2].

Гидромеханические системы (ГМС) обеспечивают переработку веществ, находящихся в разных агрегатных состояниях, чаще всего в жидких средах. Такие системы широко используются при работе с тепловыми процессами, играющими определяющую роль в химической, фармацевтической и пищевой отраслях. В зависимости от специфики процессы тепловой обработки могут осуществляться в непрерывном и периодическом режимах. Во втором случае они, как правило, сопровождаются вспомогательными процессами растворения целевых компонентов, перемешивания взаимно растворимых жидкостей с целью получения однородной жидкой смеси, проведения химических и биохимических реакций. При этом тщательно соблюдаются условия тепловой обработки [3].

Имеющееся в настоящее время оборудование не позволяет в ряде случаев осуществлять получение продукта высокого качества, например, из-за термической деструкции термолабильных веществ. Для решения данной проблемы требуется разработка инновационных ГМС.

В этой связи возникает актуальная задача повышения оперативности реализации инновационных проектов по разработке ГМС с учетом различных факторов неопределенности внутренней и внешней среды, обусловленных отсутствием необходимой статистической информации о влиянии характеристик результатов предшествующих этапов инновационного проекта на его последующие этапы, снижает эффективность традиционных методов теории расписаний (list scheduling, метода критического пути, PERT и т.д.) [4-7].

Для устранения указанных недостатков в настоящее время применяются интеллектуальные методы, обеспечивающие учет неопределенности факторов при расчете прогнозной длительности работ [8-12]. В то же время вопросы учета влияния характеристик отдельных этапов на результаты инновационного проекта в целом в публикациях, посвященных вопросам управления проектами, рассмотрены недостаточно полно.

В этой связи для решения указанной задачи могут быть использованы нейросетевые модели, построенные на основе искусственных нейронных сетей типа GRNN (Generalized Regression Neural Network) и нейро-нечетких моделей типа ANFIS (Adaptive Network Based Fuzzy Inference System). Модели первого типа позволяют получать прогнозные оценки в условиях малого объема статистической и экспертной информации, а второго – учитывать мнение экспертов при построении моделей и проводить их обучение на основе имеющегося набора аналитических данных [13-14].

### Постановка задачи

Для составления графика реализации проекта по разработке инновационной ГМС тепловой обработки жидкости, которая осуществляется с помощью подвода энергии в виде инфракрасного (ИК) излучения через свободную поверхность жидкости, содержащейся в аппарате системы. Общий принцип работы такой системы состоит в подводе энергии в виде ИК излучения к свободной поверхности жидкости, на которой с помощью перемешивающего устройства формируется центральная воронка большой глубины. Наличие воронки увеличивает площадь поверхности теплообмена, а также ее эффективную степень черноты за счет многократных отражений энергии от стенок воронки. Данный проект включает в себя выполнение следующих работ:

- $W_1$  – разработка конструкции корпуса;
- $W_2$  – разработка перемешивающего устройства;
- $W_3$  – разработка конструкции излучателя;
- $W_4$  – расчет оптимальных параметров излучения;
- $W_5$  – разработка программного обеспечения (ПО) для моделирования гидромеханических процессов в перемешивающей системе;
- $W_6$  – определение размеров элементов излучателя;
- $W_7$  – разработка ПО для моделирования теплообменного излучения в системе сложной геометрии;
- $W_8$  – создание ПО для решения сопряженной задачи;
- $W_9$  – разработка конструкции концентратора.

В таблице 1 приведено влияние указанных работ инновационного проекта друг на друга, где «1» характеризует наличие влияния, а «0» – его отсутствие.

Таблица 1 – Влияние работ инновационного проекта друг на друга

	$W_1$	$W_2$	$W_3$	$W_4$	$W_5$	$W_6$	$W_7$	$W_8$	$W_9$
$W_1$	–	0	0	0	1	0	0	0	1
$W_2$	1	–	0	0	0	0	0	1	1
$W_3$	0	0	–	0	0	1	0	0	0
$W_4$	0	0	0	–	0	0	1	0	1
$W_5$	0	0	0	0	–	0	0	1	0
$W_6$	0	0	0	0	0	–	0	0	1
$W_7$	0	0	0	0	0	0	–	1	0
$W_8$	0	0	0	0	0	0	0	–	0
$W_9$	0	0	0	0	0	0	0	0	–

На рис. 1 представлен четырехсекторный сетевой график выполнения работ рассматриваемого инновационного проекта, на котором показана возможность использования интеллектуальных (нейросетевых или нейро-нечетких) моделей (ИМ) для составления прогнозных оценок длительностей и значений характеристик результатов работ проекта.

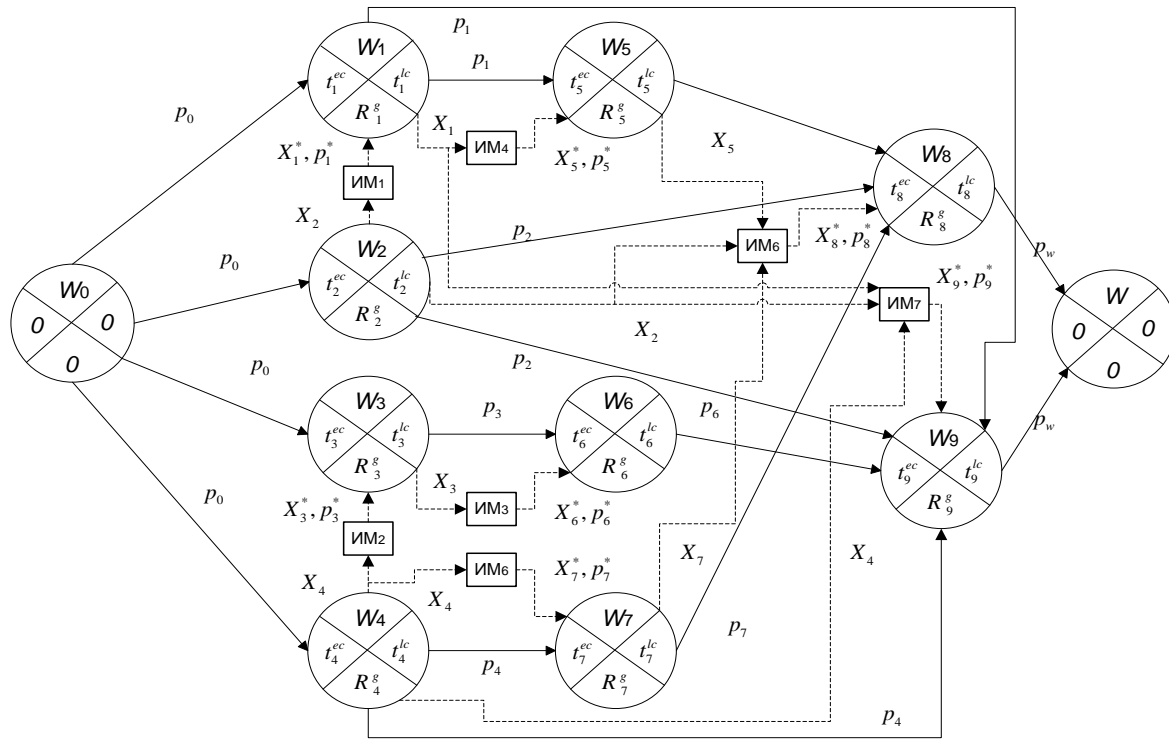


Рис. 1. Сетевой график выполнения работ проекта по разработке инновационных ГМС

Каждая работа указанного проекта характеризуется длительностью выполнения  $p_i$  и множеством значений характеристик ее результатов  $X_i = \{X_{i1}, \dots, X_{ij}\}$  ( $i = 1, \dots, I$  – номер работы (для рассматриваемого случая  $I = 9$ ),  $j = 1, \dots, J$  – номер характеристики  $i$ -й работы). Перечень значений характеристик результатов  $X_i$  всех  $i$  представлен в таблице 2.

Для процесса планирования временного графика разработки инновационных ГМС характерным является отсутствие значительных массивов ретроспективной статистической информации о факторах внешней и внутренней среды, их воздействии на длительность выполнения отдельных работ в рамках проекта, а также влияния значений характеристик результатов работ на последующий ход реализации указанного проекта в целом.

Данное обстоятельство приводит к тому, что на практике наиболее вероятны две ситуации:

- наличие достаточного объема статистических данных, полученных в результате ранее реализованных проектов;
- отсутствие статистической информации и возможность использования экспертной информации при проектном управлении разработкой ГМС.

В этой связи для составления прогнозных оценок длительностей и значений характеристик результатов работ при возникновении первой из описанных выше ситуаций целесообразно применять HCM типа GRNN, а второй – ННМ типа ANFIS.

Таблица 2 – Перечень характеристик работ инновационного проекта

Работа	Название работы	Характеристика
$W_1$	Разработка конструкции корпуса	$X_{11}$ – удельная площадь свободной поверхности, $X_{12}$ – удельная площадь боковой поверхности, $X_{13}$ – степень соответствия объемов аппарата требованиям стандартов, $X_{14}$ – рабочий объем, $X_{15}$ – коэффициент наполнения, $X_{16}$ – удельная масса (масса материала корпуса на единицу объема заполнения).
$W_2$	Разработка перемешивающего устройства	$X_{21}$ – коэффициент затрат энергии на единицу вновь сформированной свободной поверхности, $X_{22}$ – удельные затраты энергии на единицу массы жидкости, $X_{23}$ – характерный размер максимума турбулентного спектра.
$W_3$	Разработка конструкции излучателя	$X_{31}$ – Относительная ширина (степень удлиненности) диаграммы направленности.
$W_4$	Расчет оптимальных параметров излучения	$X_{41}$ – степень соответствия температуры жидкости заданному значению, $X_{42}$ – степень черноты поверхности.
$W_5$	Разработка ПО для моделирования гидромеханических процессов в перемешивающей системе	$X_{51}$ – количество выполняемых в единицу времени операций, $X_{52}$ – длительность ответа ПО, $X_{53}$ – количество ошибок, $X_{54}$ – количество невыполненных запросов, $X_{55}$ – доля стандартизованных и унифицированных операций в тексте программного кода, $X_{56}$ – качество построенной модели гидромеханических процессов в перемешивающей системе, $X_{57}$ – степень простоты интерпретируемости модели.
$W_6$	Определение размеров элементов излучателя	$X_{61}$ – степень заполнения поверхности корпусом излучателя
$W_7$	Разработка ПО для моделирования теплообменного излучения в системе сложной геометрии	$X_{71}$ – количество выполняемых в единицу времени операций, $X_{72}$ – длительность ответа ПО, $X_{73}$ – количество ошибок, $X_{74}$ – количество невыполненных запросов, $X_{75}$ – доля стандартизованных и унифицированных операций в тексте программного кода, $X_{76}$ – качество построенной модели теплообменного излучения в системе сложной геометрии, $X_{77}$ – степень простоты интерпретируемости модели.
$W_8$	Создание ПО для решения сопряженной задачи	$X_{81}$ – количество выполняемых в единицу времени операций, $X_{82}$ – длительность ответа ПО, $X_{83}$ – количество ошибок, $X_{84}$ – количество невыполненных запросов, $X_{85}$ – доля стандартизованных и унифицированных операций в тексте программного кода, $X_{86}$ – качество решения сопряженной задачи.
$W_9$	Разработка конструкции концентратора	$X_{91}$ – коэффициент отражения для поверхности концентратора, $X_{92}$ – толщина теплоизоляции, $X_{93}$ – коэффициент теплопроводности конструкционных материалов.



## Нейросетевые и нейро-нечеткие модели для прогнозных оценок длительности и значений характеристик результатов работ проекта

Нейросетевая модель на основе GRNN состоит из слоя радиальных элементов и слоя элементов, формирующих взвешенную сумму для конкретного элемента выходного слоя [14]. На рис. 2 показан пример такой НСМ для прогнозирования длительности и значений характеристик результатов отдельных работ при создании инновационной ГМС, которая включает в себя два скрытых слоя: радиально-базисный и линейный.

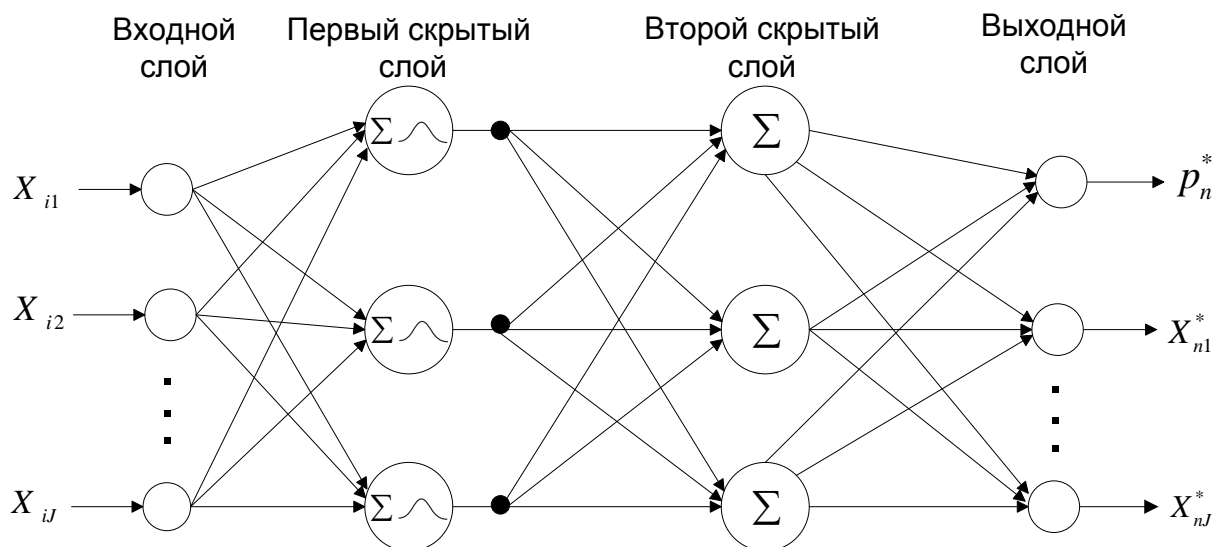


Рис. 2. Пример НСМ типа GRNN для прогнозных оценок длительности и значений характеристик результатов работ проекта

На вход НСМ поступает множество характеристик конкретной работы  $X_i = \{X_{i1}, \dots, X_{ij}\}$ . На выходе модели формируются скорректированные значения характеристик работы  $X_n^* = \{X_{n1}^*, \dots, X_{nj}^*\}$ , зависящей от  $i$ -й работы ( $n$  – номер работы, зависящей, от  $i$ -й работы), и длительности ее выполнения  $p_n^*$ .

Нейро-нечеткая модель типа ANFIS имеет структуру, соответствующую алгоритму нечеткого логического вывода Сугэно, обладает свойствами адаптации к изменяющимся условиям за счет настройки параметров функций принадлежности нечетких множеств в правилах на основе использования обучающей выборки и соответствующих алгоритмов обучения [15-16].

На рис. 3 приведен пример ННМ типа ANFIS для прогнозирования длительности работ проекта при наличии экспертной информации. Аналогично могут быть построены ННМ для формирования прогнозных оценок значений каждой из характеристик результатов работы проекта.

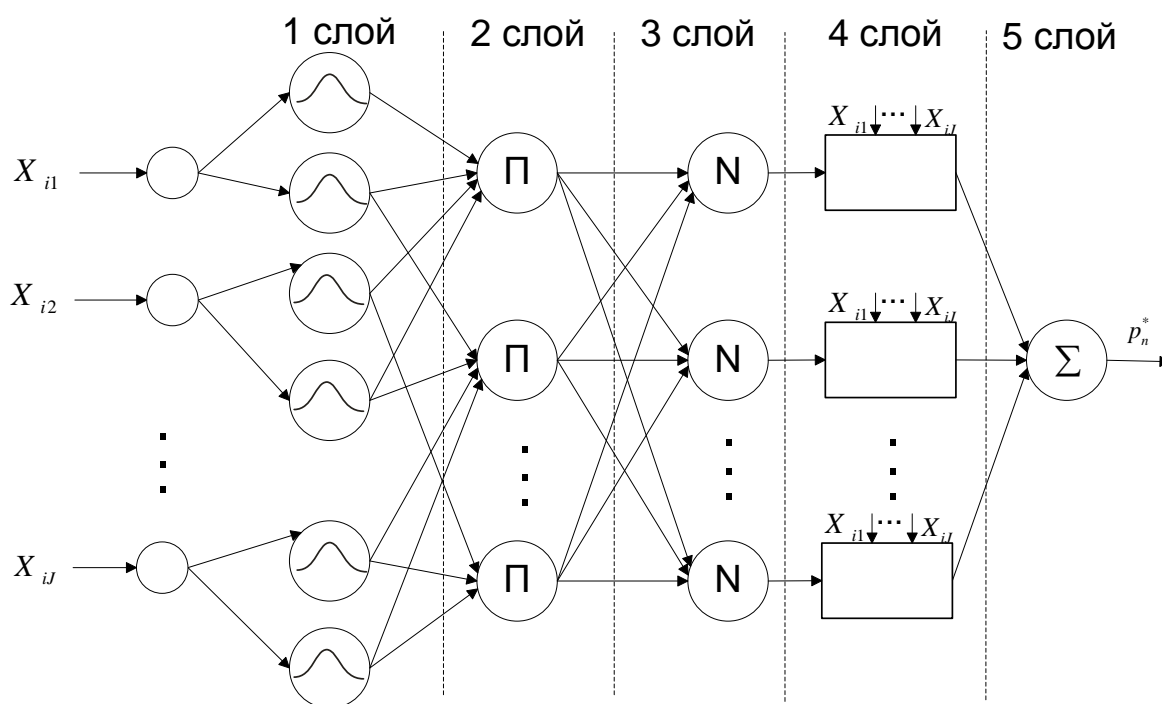


Рис. 3. Пример структуры нейро-нечеткой модели типа ANFIS для составления прогнозной оценки длительности работы проекта

На ННМ типа ANFIS поступает множество характеристик конкретной работы  $X_i = \{X_{i1}, \dots, X_{ij}\}$ . Элементы первого слоя определяют степени истинности нечетких высказываний в предпосылках всех правил модели. Второй, третий и четвертый слой содержат число элементов, равное количеству правил модели. Элементы второго слоя рассчитывают степень срабатывания предпосылок соответствующих правил, определяемую как произведение входных сигналов. Третий слой осуществляет нормализацию полученных степеней срабатывания предпосылок правил. Элементы четвертого слоя служат для определения вклада отдельного правила в результирующее значение оценки. Пятый слой представлен одним элементом, который суммирует вклады всех правил и формирует выходное скорректированное значение длительности  $p_n^*$   $n$ -й работы проекта.

### Пример применения моделей

На рис. 4 представлен плановый график работ указанного инновационного проекта, построенный без учета прогнозных оценок влияния значений характеристик отдельной работы на другие работы проекта с использованием алгоритма диспетчеризации и метода критического пути.

Как видно из рис. 4 длительность указанного инновационного проекта при его выполнении рабочей группой, состоящей из 5 человек, обладающих для наглядности расчетов универсальными компетенциями для выполнения разных работ, составит 71 день.

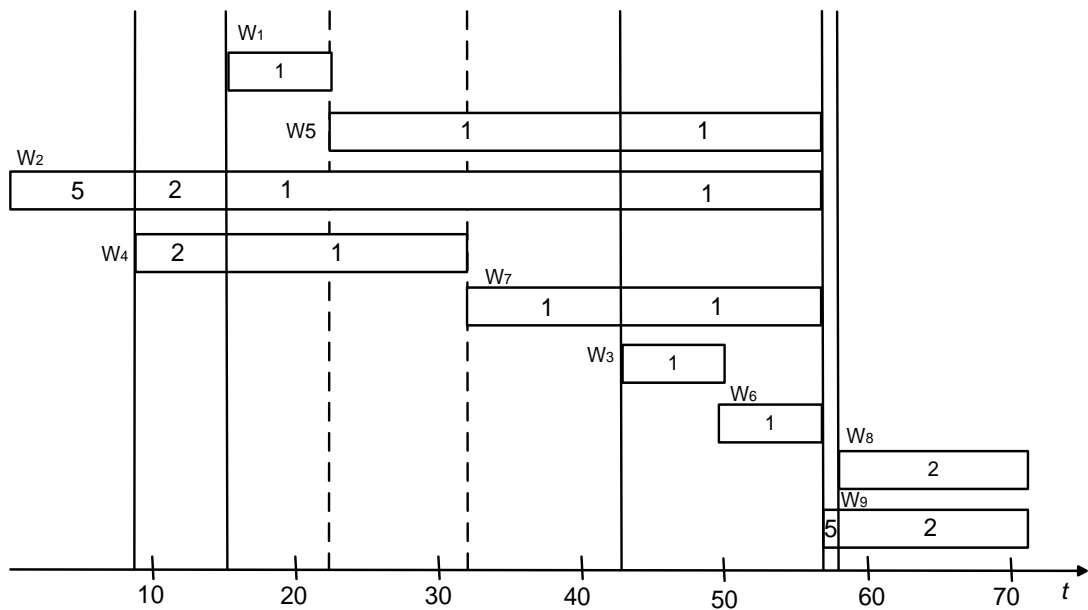


Рис. 4. Плановый график выполнения инновационного проекта по разработке инновационных ГМС без учета прогнозных оценок влияния значений характеристик отдельной работы на другие работы

На рис. 5 представлен график, построенный на основе планового графика и отражающий выполнение проекта без проведения прогнозного оценивания влияния значений характеристик результатов отдельных работ на эффективность выполнения других работ проекта при такой же рабочей группе из 5 человек.

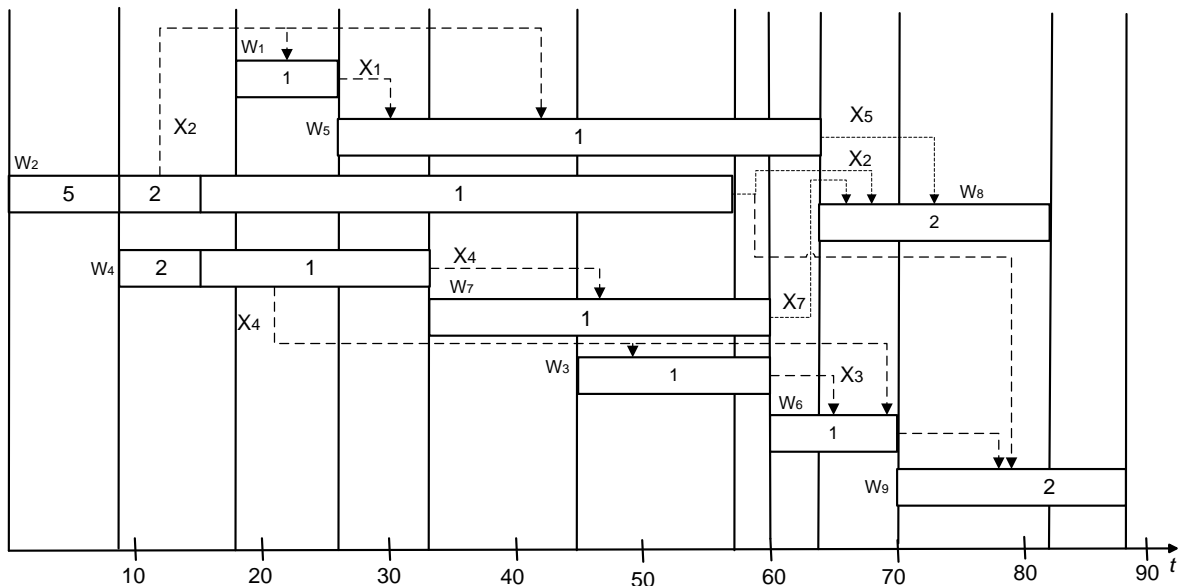


Рис. 5. Реальный график выполнения проекта, построенный на основе планового графика

На рис. 6 показан результат реализации проекта с учетом прогнозных оценок влияния значений характеристик результатов отдельных работ проекта



на эффективность выполнения других работ при такой же рабочей группе из 5 человек, полученных с использованием предложенных моделей.

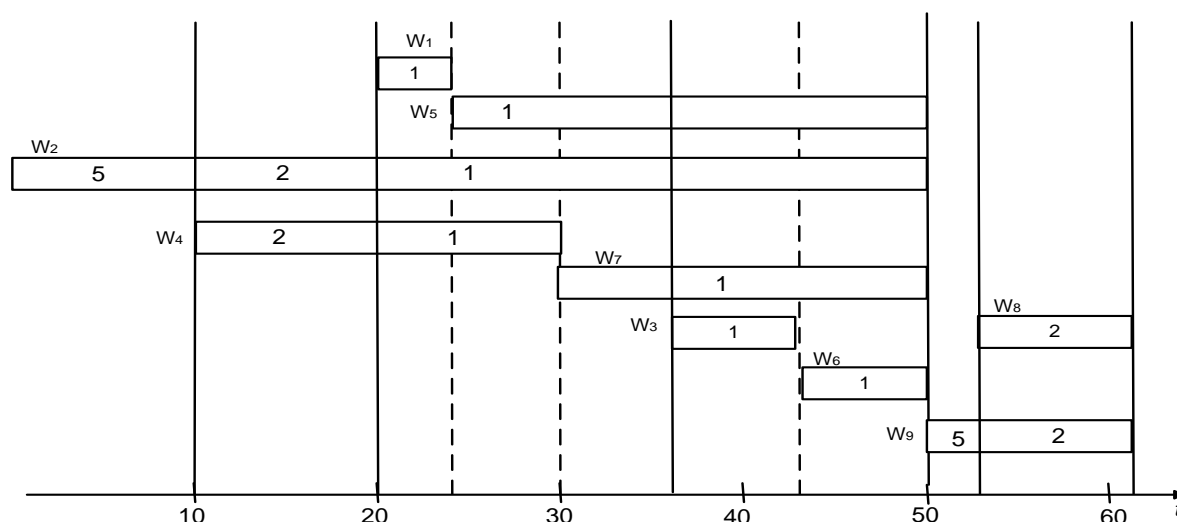


Рис. 6. Скорректированный плановый график выполнения проекта с применением предложенных моделей

В описанном примере длительность работ по проекту сократилась на 13% относительно планового графика и на 34% относительно реального графика выполнения проекта без учета прогнозных оценок влияния значений характеристик результатов работ. Информация для построения графиков получена при выполнении проекта №18-07-00928\_a, поддержанного Российским фондом фундаментальных исследований.

### Выводы

Применение предложенных нейросетевых и нейро-нечетких моделей позволяет сократить длительность выполнения работ по проекту при разработке инновационных ГМС. В результате проведения серии испытаний установлено, что время выполнения таких проектов сокращается в среднем на 11 % относительно планового графика и в среднем на 27 % относительно реального графика выполнения проекта без учета прогнозных оценок влияния значений характеристик результатов работ.

В дальнейшем планируется развитие представленных НСМ и ННМ в направлении учета других особенностей проектов по разработке инновационных гидромеханических систем, например, таких как динамическая нестабильность ГМС; случайные погрешности измерения малых величин; влияние температурных колебаний окружающей среды и т.д. Кроме этого планируется использовать данные НСМ и ННМ при разработке системы поддержки принятия решений в качестве решателя, ориентированной на выработку рекомендаций по управлению сложными проектами по разработке инновационных ГМС.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-07-00928\_a.

## Литература

1. Программа Российской Федерации «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности». Постановление Правительства РФ от 15 апреля 2014 г. №328 (в редакции постановления Правительства РФ от 31 марта 2017 г. № 382-13) // Официальный интернет-портал Правительства России [Электронный ресурс]. 2018. – URL: <http://government.ru/programs/203/events/> (дата обращения: 09.02.2018).
2. Программа «Цифровая экономика Российской Федерации». Распоряжением. Правительства РФ от 28 июля 2017 г. № 1632-р // Официальный интернет-портал Правительства России [Электронный ресурс]. 2018. – URL: <http://government.ru/rugovclassifier/614/events/> (дата обращения: 10.02.2018).
3. Голованчиков А. Б., Дулькина Н. А., Аристова Ю. В. Моделирование гидромеханических и тепломассообменных процессов в аппаратах и реакторах. – Волгоград: Волгоградский государственный технический университет. 2013. – 139 с.
4. Лазарев А. А., Гафаров Е. Р. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы. – М.: Московский государственный университет им. Ломоносова, 2011. – 222 с.
5. Конвей Р. В., Максвелл В. Л., Миллер Л. В. Теория расписаний. – М.: Наука. Главная редакция физ.-мат. литературы, 1975. – 360 с.
6. Бородин А. А., Игнатенков А. В., Лысиков М. Г., Ольшанский А. М. К вопросу о теории нестабильных расписаний // Системы компьютерной математики и их приложения. 2016. № 17. С. 115-118.
7. Лазарев А. А. Модели и методы решения задач теории расписаний // Автоматика и телемеханика. 2014. № 7. С. 14-16.
8. Шевляков А. О., Матвеев М. Г. Решение RCPSP при нечетких трудозатратах выполнения операций // Вестник ВГУ, серия: системный анализ и информационные технологии. 2015. № 4. С. 121-125.
9. Стоянова О. В., Дли М. И. Информационно-аналитическая система управления производственными проектами машиностроения в условиях неопределенности // Программные продукты и системы. 2015. № 3. С. 49-56
10. Дли М. И., Стоянова О. В., Васицына А. И. Возможности использования временных логик для управления сложными проектами // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. 2011. № 8. С. 48-52.
11. Гимаров В. В., Глушко С. И., Дли М. И. Применение алгоритмов муравьиных колонии при управлении сложными проектами // Транспортное дело России. 2012. № 4. С. 107-109.
12. Liu Yu-Chuan, Yang S. M., Lin Yu-Te Fuzzy Finish Time Modeling for Project Scheduling // The 11th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference. The Asia Pacific Regional Meeting of International Foundation for Production Research. Melaka, 7–10 December 2010. pp. 78-91.
13. Круглов В. В., Борисов В. В., Быстров А. В. Современные информационные технологии. Основы построения и применения

искусственных нейронных сетей. – Смоленск: Смоленский государственный университет, 2006. – 92 с.

14. Nauck D., Klawonn F., Kruse R. Foundations of Neuro-Fuzzy Systems. John Wiley & Sons, 1997. – 305 p.

15. Борисов В. В., Круглов В. В., Федулов А. С. Нечеткие модели и сети. 2-е изд. стереотип. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 284 с.

16. Борисов В. В., Мисник А. Е. Комбинированный нейросетевой способ моделирования для оперативного управления сложными системами // Информационные технологии. 2012. № 7. С. 69-72.

### References

1. Program of the Russian Federation «Development of industry and increase of its competitiveness». Decree of the Government of the Russian Federation of April 15, 2014 no. 328 (in the wording of the Resolution of the Government of the Russian Federation of March 31, 2017 no. 382-13). Official Internet-portal of the Government of Russia. Available at: <http://government.ru/programs/203/events/> (accessed 9 February 2018) (in Russian).

2. The program «Digital Economy of the Russian Federation». An order of Government of the Russian Federation of July 28, 2017 no. 1632-r. Official Internet-portal of the Government of Russia. Available at: <http://government.ru/rugovclassifier/614/events> (accessed 10 February 2018) (in Russian).

3. Golovanchikov A. B., Dul'kina N. A., Aristova Yu. V. *Modelirovanie gidromekhanicheskikh i teplomassoobmennyykh protsessov v apparatakh i reaktorakh* [Modeling of hydromechanical and heat and mass exchange processes in apparatuses and reactors]. Volgograd, Volgograd State Technical University Publ., 2013. 139 p. (in Russian).

4. Lazarev A. A., Gafarov E. R. *Teoriya raspisaniy. Zadachi i algoritmy*. [Theory of schedules. Tasks and algorithms]. Moscow, Lomonosov Moscow State University Publ., 2011. 222 p. (in Russian).

5. Konvey R. V., Maksvell V. L., Miller L. V. *Teoriya raspisaniy* [Theory of schedules]. Moscow, Nauka Publ., 1975. 360 p. (in Russian).

6. Borodin A. A., Ignatenkov A. V., Lysikov M. G., Ol'shanskiy A. M. K voprosu o teorii nestabil'nykh raspisaniy [To the question of the theory of unstable schedules]. *Sistemy komp'yuternoy matematiki i ikh prilozheniya*, 2016, no. 17, pp. 115-118 (in Russian).

7. Lazarev A. A. Modeli i metody resheniya zadach teorii raspisaniy [Models and methods for solving scheduling problems]. *Automation and Remote Control*, 2014, no. 7, pp. 14-16 (in Russian).

8. Shevlyakov A. O., Matveev M. G. Reshenie RCPSP pri nechetkikh trudozatratakh vypolneniya operatsiy [RCPSP solution for fuzzy work of operations]. *Vestnik VGU. Sistemnyy analiz i informatsionnye tekhnologii*, 2015, no. 4, pp. 121-125 (in Russian).

9. Stoyanova O. V., Dli M. I. Informatsionno-analiticheskaya sistema upravleniya proizvodstvennymi proektami mashinostroeniya v usloviyakh

neopredelennosti [Informational and analytical system for managing industrial engineering projects in conditions of uncertainty]. *Programmnye produkty i sistemy*, 2015, no. 3, pp. 49-56 (in Russian).

10. Dli M. I., Stoyanova O. V., Vasitsyna A. I. Vozmozhnosti ispol'zovaniya vremennykh logik dlya upravleniya slozhnymi proektami [Possibilities of using temporary logics for managing complex projects]. *Neirokompiutery: razrabotka, primeneniye*, 2011, no. 8, pp. 48-52 (in Russian).

11. Gimarov V. V., Glushko S. I., Dli M. I. Primeneniye algoritmov murav'inykh kolonii pri upravlenii slozhnymi proektami [Application of algorithms of ant colony when managing complex projects]. *Transportnoe delo Rossii*, 2012, no. 4, pp. 107-109 (in Russian).

12. Liu Yu-Chuan, Yang S. M., Lin Yu-Te Fuzzy Finish Time Modeling for Project Scheduling. *The 11th Asia Pacific Industrial Engineering and Management Systems Conference. Asia Pacific Regional Meeting of International Foundation for Production Research. Melaka, 7-10 December 2010*, pp. 78-91.

13. Kruglov V. V., Borisov V. V., Bystrov A. V. *Sovremennye informatsionnye tekhnologii. Osnovy postroeniya i primeneniya iskusstvennykh neyronnykh setey* [Modern information technologies. Basics of constructing and using artificial neural networks]. Smolensk. Smolensk State University Publ., 2006. 92 p. (in Russian).

14. Nauck D., Klawonn F., Kruse R. *Foundations of Neuro-Fuzzy Systems*. John Wiley & Sons, 1997. 305 p.

15. Borisov V. V., Kruglov V. V., Fedulov A. S. *Nechetkie modeli i seti* [Fuzzy models and networks]. Goryachaya liniya – Telekom Publ., 2012. 284 p. (in Russian).

16. Borisov V. V., Misnik A. E. Kombinirovanny neyrosetevoy sposob modelirovaniya dlya operativnogo upravleniya slozhnymi sistemami [Combined neural network modeling for the operational management of complex systems]. *Informacionnye tehnologii*, 2012, no. 7, pp. 69-72 (in Russian).

**Статья поступила 12 апреля 2018 г.**

### **Информация об авторах**

*Черновалова Маргарита Витальевна* – аспирант. Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт». Область научных интересов: методы интеллектуального анализа данных; экспертные методы; нечеткая логика; теория принятия решений; теория расписаний. E-mail: 0208margarita@bk.ru

Адрес: 214013, Россия, г. Смоленск, Колхозный пер., д. 15.

## Project Management for Hydromechanical System Development with Neural Network Models

M. V. Chernovalova

**Formulation of the task.** In conditions of innovative modernizing the hydromechanical systems, an actual task is reducing time of the project implementation for their development taking into account the uncertainty of various external and internal factors that reduce the effectiveness of known methods of scheduling theory. **Purpose.** Reducing time of implementing the project to develop the innovative hydromechanical systems using intelligent methods and models. To obtain predictive estimates during managing the projects in conditions of a small amount of statistical and expert information, it is proposed to use neural network models (NNM) of the type GRNN (Generalized Regression Neural Network). If it is required to take into account the experts' opinion during constructing the models and to conduct their training on the basis of the available set of analytical data, it is proposed to use neuro-fuzzy models (NFM) such as ANFIS (Adaptive Network-Based Fuzzy Inference System). **Methods.** The solution of the problem of project management for developing the innovative hydromechanical systems under uncertainty conditions is accomplished the applying the List Scheduling scheduling algorithm and the critical path method, improved by using NNM and NFM. **Novelty.** The research novelty is the use of NNM and NFM during planning the projects of this type that take into account the results of previous work. **Results.** The use of the presented solution allows optimizing the duration of projects to develop the innovative hydrodynamic systems in conditions of uncertainty. The test results have showed that application of the developed models allows to reduce time of project implementation on average by 11% relative to the planned schedules and on average by 27% relative to real schedules which do not take into account the interaction of the characteristics of the project activities. **Practical relevance.** It is supposed to use presented NNM and NFM for managing the project to develop the innovative hydromechanical systems.

**Keywords:** project management, neural network models, neuro-fuzzy models, hydromechanical systems, project network schedule

### Information about Author

Margarita Vital'evna Chernovalova – The postgraduate student. National Research University «Moscow Power Engineering Institute». Field of research: methods of data mining; expert methods; fuzzy logic; decision theory; scheduling theory. E-mail: 0208margarita@bk.ru

Address: Russia, 214013, Smolensk, Kolkhozniy pereulok, 15.