

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

На диссертационную работу Ильюшина Юрия Валерьевича «Разработка системы управления технологическим процессом добычи высокопарафинистой нефти», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность).

### 1. Актуальность темы диссертации

Актуальность выполненного диссертационного исследования определяется сложностью реализации систем управления объектами с распределёнными параметрами. Управляемые величины таких систем зависят не только от времени, но и от пространственных координат. В этой связи, принципиально расширяется класс управляющих воздействий, прежде всего за счёт возможности включения в их число пространственно-временных управлений, описываемых функциями нескольких переменных – времени и пространственных координат.

Особенности систем с распределёнными параметрами требуют создания аппарата для их анализа и синтеза на базе нетрадиционных для классической теории управления математических средств. Существуют различные формы описания моделей систем с распределёнными параметрами: в виде дифференциальных уравнений в частных производных; структурное представление систем с распределёнными параметрами, которое опирается на фундаментальное решение краевой задачи; представление распределённых объектов в виде комплексных передаточных коэффициентов по собственным вектор функциям оператора объекта.

Известно, что многие математические модели, описывающие важные для практики технологические процессы, не имеют аналитического решения. Для анализа таких объектов, описываемых уравнениями в частных производных, чаще всего используются аппроксимационные методы. Однако следует отметить, что на сегодняшний день методика аппроксимации распределённых систем специальным образом подобранной сосредоточенной системой не разработана, при этом, во многих задачах процесс аппроксимации является неустойчивым относительно погрешностей промежуточных вычислений. Разработкой моделей рассматриваемых систем и методик синтеза в последнее время занимается большое число авторов в виду безусловной актуальности и большой востребованности технических решений на практике. При этом многие работы заканчиваются этапами

моделирования систем, предполагая дальнейший параметрический синтез, применение которого связано с решением ряда проблем. Рассматриваемая работа выгодно отличается тем, что она доведена до логического завершения – получены алгоритмы управления внедренные в технологический процесс добычи высокопарафинистой нефти.

## **2. Достоверность и новизна основных выводов и результатов диссертации**

Научные результаты, полученные в диссертации, основаны на использовании аналитических решений краевой задачи.

Достоверность основных выводов и результатов определяется использованием при решении задачи анализа и синтеза систем управления температурным полем объекта общепринятой исходной линейной математической модели. Предложенные в работе законы управления получены путем применения математически корректных процедур, а их работоспособность подтверждена большим количеством компьютерных экспериментов.

К наиболее значительным результатам данной работы следует отнести:

- концептуальную модель системы управления технологическим процессом добычи высокопарафинистой нефти;
- динамическую математическую модель температурного поля пространственно-распределенного объекта с неоднородной средой распространения тепла.
- аналитические модели управляемого температурного поля с использованием функции Грина;
- методику синтеза системы управления с импульсным управляющим воздействием;
- метод, позволяющий определить оптимальное количество исполнительных элементов (нагревателей) и координаты их размещения.

## **3. Научная значимость работы**

Научная ценность данной работы состоит в развитии теоретических основ анализа и синтеза линейных распределённых систем управления. Научная значимость положений выносимых на защиту определяется в следующем виде.

1. Концептуальная модель системы управления технологическим процессом добычи высокопарафинистой нефти.

*Научная новизна данного положения* заключается в комплексном представлении иерархической структуры, обоснованным выбором входных, внутренних, измеряемых и управляемых величин, что позволяет на ее основе

разрабатывать математическую модель управляемого технологического процесса пространственного нагрева.

2. Математическая модель температурного поля пространственно-распределенного объекта с неоднородной средой распространения тепла.

*Научная новизна данного положения* заключается в применении теории импульсных систем с распределенными параметрами к математическому описанию многопараметрического объекта находящегося в неоднородной среде.

3. Аналитические модели управляемого температурного поля с использованием функции Грина.

*Научная новизна данного положения* заключается в анализе объекта управления, выявлении и обоснованном учёте входных и выходных параметров, получении обобщенной аналитической модели, особенностью которой является использование функции Грина.

4. Методика анализа температурного поля сложного распределенного объекта (теплофизические параметры рассматриваемого объекта зависят от пространственных координат).

*Научная новизна данного положения* заключается в выявлении закономерности распространения температурного поля в объекте, на основе многочленных экспериментальных исследований, что позволило уточнить (верифицировать) математическую модель объекта.

5. Методика синтеза распределенной системы управления с импульсным управляющим воздействием.

*Научная новизна данного положения* заключается в разработке методики анализа и синтеза импульсных распределенных систем управления

6. Метод оптимального размещения нагревательных элементов.

*Научная новизна данного положения* выявлена закономерность формирования температурного поля в результате импульсных входных воздействий. На основе выявленной закономерности разработана методика, определения оптимального количество исполнительных элементов (нагревателей) и координат их размещения.

#### **4. Практическая значимость работы**

В рамках выполнения диссертационного исследования автор решил сложную научно-техническую задачу, имеющую важное народнохозяйственное значение. В рамках исследования автором получены ряд принципиально новых технических устройств, на которые получены патенты на полезную модель № 132938, 142770, 142847, 149392, 162036. Данные устройства позволяют решать ряд технических задач по

поддержанию температурного поля в различных отраслях РФ. Разработано большое количество (Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ 24 шт.) алгоритмов и программных модулей реализованных на ЭВМ. Важно отметить наличие разработанных электронных устройств зарегистрированных в установленном порядке № 2015630036 и № 2016630074. Позволяющие осуществлять выдачу управляющих команд на нагревательные элементы, находящиеся в стенке насосно-компрессорной трубы. Все указанные технические разработки апробированы на месторождении путем модернизации существующей схемы технологического процесса.

Результаты диссертационного исследования нашли свое отражение в научных публикациях к основным из которых следует отнести: 28 работ, входящих в перечень ВАК, 25 работ, включенных в наукоёмкую базу Scopus из которых 2 статьи в журналах 1 квартиля и 5 статей в журналах 2 квартиля.

## **5. Замечания и пожелания по содержанию диссертации**

*По тексту диссертации имеются следующие замечания*

1) Предложенные алгоритмы анализа устойчивости и синтеза регуляторов предусматривают ограниченное число пространственных мод, при разложении входного воздействия в ряд Фурье, при этом не обосновывается выбор их количества;

2) При исследовании процесса формирования температурного поля в результате мгновенных точечных воздействий не учитывалась мощность источников.

4) В заголовке параграфа на стр. 156 используется термин «составные объекты управления», однако отсутствует пояснение смысла этого термина.

*По тексту автореферата имеются следующие замечания*

1) В тексте автореферата имеются опечатки. Например, Рисунок 6 «Динамическое изменение температурного в зависимости от времени» потеряно слова «поля» и др.

2) На странице 12 и 13 приводится перечень выступлений и конференции, на которых заслушивались материалы указанного исследования. Следовало бы указать только ключевые.

Несмотря на указанные замечания, необходимо принять во внимание корректность и существенную научную новизну проведенного исследования, обоснованность и бесспорную значимость полученных результатов.

Замечания относятся к отдельным положениям диссертации и не снижают высокой оценки работы в целом.

## 6. Оценка содержания диссертации в целом

Диссертация представляет собой законченную научную квалификационную работу, содержащую решение актуальной научно-технической задачи. Достигнутые в диссертации результаты имеют высокую научную и прикладную значимость и вносят вклад в теорию и методы синтеза нелинейных распределенных систем управления.

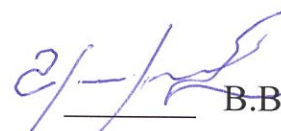
## 7. Публикация основных результатов в научной печати

Основные выводы и результаты диссертации опубликованы в 27 печатных работах из них 7 работ входящих в перечень ВАК и 2 монографии, имеется акт апробации в МИП "Биокрон" и акт внедрения в ООО "Дубль"

## 8. Заключение



Полученная в диссертации Ю.В. Ильюшина совокупность новых научных и прикладных результатов, их значение для науки и практики автоматического управления линейными системами с распределенными параметрами свидетельствуют о соответствии уровня работы требованиям ВАК РФ к докторским диссертациям. Автор диссертации – Ильюшин Юрий Валерьевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность).

Официальный оппонент  
д.т.н., профессор,  
профессор эксперт факультета систем управления  
и робототехники федерального государственного  
автономного образовательного учреждения  
высшего образования «Санкт-Петербургский  
национальный исследовательский университет  
информационных технологий, механики и оптики»  
«26» апреля 2021 г.

  
В.В. Григорьев

Контактные данные: 197 101, г. Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д.49, литер А.  
+7 (812) 595-41-28; vygrigorev@itmo.ru



ПОДПИСЬ   
УДОСТОВЕРЯЮ  
ЗАМ. НАЧАЛЬНИКА ОК ИТМО  
 УСПЕНСКАЯ О.В.