

## ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертационную работу Александрова Игоря Станиславовича на тему «Моделирование термодинамических свойств и фазовых равновесий углеводородов и многокомпонентных углеводородных смесей на основе фундаментальных уравнений состояния», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

### **Актуальность темы диссертационной работы**

В течение многих десятилетий во всем мире проводятся интенсивные исследования, направленные на развитие методов описания термодинамических свойств природных углеводородных систем. В значительной мере направленность этих исследований связана с потребностями практики: необходимостью повышения качества проектирования и мониторинга разработки и эксплуатации месторождений нефти и газа, определения рациональных технологических условий промысловой обработки, транспортировки и заводской переработки добываемого сырья. Информация о термодинамических свойствах для, указанных процессов, важна и в ней испытывается постоянный дефицит, несмотря на более чем вековую историю экспериментального исследования теплофизических свойств. Дефицит информации обусловлен как расширением рабочих параметров технологических процессов, так и разработкой новых процессов на иной сырьевой базе. В то же время экспериментальное исследование становится все более дорогостоящим и затратным по сравнению с другими методами получения информации, в частности расчетными.

В современной практике инжиниринга месторождений природных углеводородных систем оценка термодинамических свойств индивидуальных компонентов и их смесей производится с применением фундаментальных положений термодинамики и апробированных уравнений состояния. Уравнения состояния, описывающие с необходимой точностью термодинамические свойства вещества, это один из методов решения проблемы дефицита информации, а также удобная форма её хранения и использования. В связи с вышесказанным тема диссертационной работы Александрова И.С. является, несомненно, актуальной.



## **Общая характеристика диссертационной работы**

Диссертация состоит из двух томов. Первый том содержит введение, шесть глав, заключение и список использованных источников информации и содержит 440 страниц, 85 таблиц, 75 рисунков. Во втором томе представлены приложения на 64 страницах. Общий объем работы – 504 страницы.

**Во введении** обоснованы актуальность темы диссертации и цель работы, рассмотрены основные задачи исследований, научная новизна, личный вклад автора, достоверность результатов и выводов, практическая ценность, внедрение результатов.

**В первой главе** выполнен подробный анализ методов моделирования термодинамических свойств углеводородов и углеводородных смесей на основе кубических уравнений, широко применяемых в нефтегазовой отрасли для моделирования свойств пластовых флюидов. Диссертант представил достаточно подробный обзор как современных, так и исторических уравнений состояния, описывающих жидкую, газовую фазы и область сверхкритического флюидного состояния. Автором проведена систематизация методов и численных алгоритмов расчета парожидкостного равновесия в многокомпонентных системах и проведены сравнительные расчеты основных термодинамических свойств и фазовых равновесий углеводородов нефти и сопутствующих газов, а также модельных углеводородных смесей и нефтепродуктов. На основе полученных результатов показано, что на данный момент имеется проблема существенного повышения точности, применяемых методов моделирования термодинамических свойств исследуемых веществ.

**Вторая глава** содержит результаты разработки многоконстантных уравнений состояния углеводородов нефти и газовых конденсатов. Материал данной главы подтверждает, прежде всего, профессиональную эрудицию автора и показывает, что выбор формы уравнения состояния и метода его разработки обоснован и, по-видимому, наиболее эффективен, особенно при недостатке или неравномерном распределении экспериментальных данных на поверхности состояния. Автором диссертации выполнена очень большая работа по сбору и анализу экспериментальных данных о термодинамических свойствах углеводородов, а также анализу существующих уравнений состояния. Отобраны наиболее надежные данные и получены уравнения состояния для н-алканов от н-пентана до н-тетрадекана, ароматических и нафтеновых углеводородов. Отличительной особенностью и несомненным достоинством данной работы является выбор начала отсчета термодинамических потенциалов – энталпии, энтропии, энергии Гиббса и

Гельмгольца. Автор диссертации, в отличие от его западных коллег, за точку отсчета принял состояние равновесной твердой фазы при температуре 0 К. Для этого ему потребовалось проанализировать данные о калорических свойствах исследованных углеводородов в низкотемпературной области и выполнить расчет значений термодинамических потенциалов во вспомогательной точке отсчета – насыщенная жидкая фаза при температуре 298,15 К. При такой точке отсчета численные значения термодинамических потенциалов различных углеводородов приобретают физический смысл и их можно сравнивать и анализировать. Представлены результаты сравнения экспериментальных данных с рассчитанными по уравнениям состояния значениями. Показано, что уравнения состояния характеризуются высокой, в пределах экспериментальной погрешности, точностью и применимы для расчета всех термодинамических свойств в диапазоне температуры от тройной точки до 700 К при давлениях до 100 МПа.

**В третьей главе** автором представлены результаты разработки двух обобщенных многоконстантных фундаментальных уравнений состояния для н-алканов и углеводородов циклической структуры. На основе подробного анализа показано, что в настоящее время отсутствуют обобщенные, единые для жидкой и газовой фазы уравнения состояния, позволяющие с требуемой точностью рассчитывать термодинамические свойства углеводородов нефти различных гомологических рядов. С учетом особенностей молекулярного строения исследуемых веществ и имеющихся экспериментальных данных автором принято решение разработать два обобщенных уравнения отдельно для алканов и углеводородов циклического строения. Так как «тяжелые» представители гомологических рядов исследованы значительно менее подробно, то для повышения устойчивости уравнений состояния дефицит данных был восполнен расчетными методами. Автор диссертации показал, что он знаком и владеет этими методами. Важно отметить, что в процессе работы над уравнениями в алгоритм поиска коэффициентов включались ограничения, обеспечивающие как выполнения традиционных требований – критические условия и правило Максвелла, так и дополнительных – правило прямолинейного диаметра, положительность теплоемкостей и др. Это позволило автору диссертации получить уравнения, обладающие хорошими экстраполяционными возможностями. В итоге разработанные обобщённые уравнения состояния позволяют с достаточной для практических расчетов точностью производить моделирование термодинамических свойств и фазового поведения н-алканов, а также циклических углеводородов.

**Четвертая глава** исследования посвящена разработке обобщенного фундаментального уравнения состояния на базе SAFT-модели. На основе тщательного анализа известных модификаций SAFT-уравнений состояния автор показал, что они являются перспективными при прогнозировании свойств сильно асимметричных смесей, которыми, в том числе, являются и пластовые флюиды. Наиболее перспективным для моделирования свойств углеводородов и их смесей, по мнению автора, является SAFT уравнение состояния с возмущенной цепью или PC-SAFT. Автором был сформирован согласованный массив экспериментальных данных об углеводородах различного строения, на основе которого получен оптимизированный вариант матрицы универсальных констант PC-SAFT уравнения. Новое уравнение позволяет рассчитывать все термодинамические свойства углеводородов нефти, также сопутствующих газов с точностью близкой к точности современных обобщенных эмпирических уравнений состояния. Точность описания калорических свойств и, в частности, скорости звука повышена в два и более раза по сравнению с предыдущими версиями данного уравнения состояния.

**Пятая глава** диссертации открывает ту часть работы, которая посвящена разработке методов моделирования термодинамических свойств многокомпонентных углеводородных систем. На основе разработанных в третьей главе обобщенных уравнениях состояния автором предложена прогнозная методика моделирования и расчета термодинамических свойств многокомпонентных углеводородных систем природного происхождения – нефтяных и газоконденсатных фракций. Расчет предлагается производить в рамках «квазиодножидкостной» модели вещества и расширенного принципа соответственных состояний, когда сложная смесь моделируется индивидуальным веществом с известными критическими свойствами и фактором ацентричности. В этой же главе на основе авторского PC-SAFT уравнения четвертой главы разработана методика моделирования и расчета термодинамических свойств природных углеводородных систем – нефтяные и газоконденсатные фракции, пластовые флюиды. Новые методики отличаются от существующих методов расчета более широким диапазоном применимости и более высокой точностью расчета термодинамических свойств. Для возможности проведения расчетов фазовых равновесий разработан метод моделирования состава сложных углеводородных смесей псевдокомпонентами на основе данных о кривой разгонки и минимальном наборе физико-химических свойств – средняя температура кипения, относительная плотность, молярная масса.

**В шестой главе** автором предлагаются методики прогнозного расчета фазового состояния многокомпонентных углеводородных систем. Комплекс авторских индивидуальных и обобщенных многоконстантных уравнений состояния составил основу методики прогнозирования фазового состояния природных углеводородных смесей, предложенной в данной главе. В рамках указанной методики автором предлагаются правила перехода от «квазиодножидкостной» модели к модели идеального раствора, что обеспечивает термодинамическую согласованность результатов расчета термодинамических свойств по этим двум моделям. Кроме этого, разработан метод прогнозирования коэффициентов парного взаимодействия компонентов в смеси применительно к модели смеси GERG. Для расчета фазовых равновесий по авторскому PC-SAFT уравнению с использованием аппарата искусственных нейронных сетей разработан метод прогнозирования характеристических констант данного уравнения состояния применительно к псевдокомпонентам. Приведены результаты тестирования и сравнения указанных методик с экспериментальными данными о фазовом равновесии модельных и природных углеводородных смесей.

**В заключении** приведены основные результаты исследований.

Во втором томе представлены результаты тестирования разработанных уравнений состояния с многочисленными экспериментальными данными отечественных и зарубежных авторов. Приводятся 12 свидетельств ГСССД об утверждении в категории стандартных справочных данных таблиц теплофизических свойств исследуемых углеводородов.

### **Научная новизна полученных результатов**

1. Впервые получены новые многоконстантные фундаментальные уравнения состояния для пятнадцати технически важных углеводородов, позволяющие рассчитывать термические и калорические свойства исследуемых веществ с высокой точностью.
2. Разработаны новые обобщенные многоконстантные фундаментальные уравнения состояния для н-алканов и углеводородов циклического строения – нафтенов и аренов. Разработанные обобщенные уравнения описывают все ТДС углеводородов указанных гомологических рядов с погрешностью, близкой к погрешности эксперимента, в диапазоне температур от тройной точки до ~ 700 К при давлениях до 100 МПа.
3. Разработано новое обобщенное, теоретически обоснованное уравнение состояния, полученное на базе модели PC-SAFT. Сравнение расчетных значений ТДС для различных углеводородов нефти и сопутствующих газов с

экспериментальными данными показало существенно более высокую точность по сравнению с существующими аналогами. Впервые проведено масштабное тестирование предложенной модификации SAFT-уравнения состояния на обширной экспериментальной базе, включающей углеводороды нефти различного строения и сопутствующие газы, а также нефть и газовые конденсаты различных месторождений, их фракции и товарные нефтепродукты.

4. На основе комплекса авторских индивидуальных и обобщенных многоконстантных уравнений состояния разработана методика расчета термодинамических свойств сложных углеводородных смесей с определенным и неопределенным составом. Расчет производится в рамках «квазиодножидкостной» модели вещества и расширенного принципа соответственных состояний, когда сложная смесь моделируется индивидуальным веществом с известными критическими свойствами и фактором ацентричности. Новая методика позволяет производить прогнозный расчет всех термодинамических свойств сложных углеводородных смесей на основе минимума исходной информации – относительная плотность и показатель преломления при температуре 20 °C, средняя температура кипения и средняя молярная масса. Тестирование предлагаемой методики показало, что она характеризуется значительно более высокой точностью прогнозного расчета ТДС (плотность жидкой фазы рассчитывается ~ в четыре раза точнее кубических УС, а изобарная теплоемкость – на порядок и более) и может быть использована для расчета фазовых равновесий также с достаточно высокой точностью.

5. На основе авторского обобщенного уравнения состояния, полученного в рамках статистической теории ассоциированного флюида (PC-SAFT), разработана методика расчета термодинамических свойств сложных углеводородных смесей с неопределенным составом. Как и в предыдущем случае, расчет производится в рамках «квазиодножидкостной» модели вещества. Сложная смесь моделируется индивидуальным веществом, идентификация которого производится по характеристическим константам PC-SAFT уравнения – энергетический масштабный параметр  $\epsilon$  и диаметр сегмента  $\sigma$ , число сегментов  $m$  в молекуле. Тестирование данной методики применительно к стабильным углеводородным смесям, а также пластовым флюидам показало, что она позволяет производить прогнозный расчет плотности с ошибками, несколько превышающими значения, полученные при использовании двух многоконстантных уравнений состояния, но, тем не менее, отклонения в 2 – 3 раза меньше, чем при использовании кубических уравнений. Точность расчета изобарной теплоемкости не ниже, а, в

некоторых случаях, и выше, чем при использовании многоконстантных уравнений и существенно выше, чем при использовании кубических уравнений.

6. Разработана методика расчета фазового состояния многокомпонентных углеводородных систем, позволяющая на единой термодинамической основе моделировать все термодинамические свойства на линии фазового равновесия в широком диапазоне параметров состояния. Методика базируется на двух авторских обобщенных фундаментальных уравнениях состояния и использует минимум исходной информации: физико-химические свойства смеси, а также фракционный состав. В рамках данной методики предложены правила перехода от «квазиодножидкостной» модели к модели идеального раствора применительно к многокомпонентным углеводородным смесям природного происхождения.

7. С использованием существующего кубического уравнения состояния PPR78 и метода групповых составляющих разработан метод прогнозного расчета коэффициентов парного взаимодействия применительно к математической модели многокомпонентной смеси на базе авторских многоконстантных уравнений состояния.

8. Разработана методика расчета фазового состояния природных многокомпонентных систем на основе, полученного в данной работе, обобщенного фундаментального PC-SAFT уравнения состояния. Методика использует аналогичный набор исходных данных, что и методика, основанная на фундаментальных многоконстантных уравнениях состояния. При этом предлагаемая методика существенно более точно и физически верно описывает фазовое поведение ассиметричных многокомпонентных систем.

9. Разработан метод прогнозного расчета характеристических констант PC-SAFT уравнения состояния применительно к описанию фазового поведения нефтяных и газоконденсатных фракций. Метод базируется на авторском PC-SAFT уравнении состояния и применяет аппарат искусственных нейронных сетей и позволяет с высокой точностью производить расчет фазовых равновесий, используя модель смеси с меньшим количеством псевдокомпонентов.

## **Достоверность и обоснованность полученных результатов**

Достоверность результатов полученных в диссертации подтверждается использованием наиболее совершенных методов численной оптимизации и фундаментальных положений термодинамики, а также сравнением с надежными экспериментальными данными, полученными разными авторами

и разными методами исследования, а также сопоставлением полученных результатов с результатами аналогичных исследований.

### **Теоретическая и практическая значимость работы**

Разработанные индивидуальные и обобщённые уравнения состояния и основанные на них методы расчета термодинамических свойств могут быть использованы:

- для пополнения банков и баз данных о термодинамических свойствах углеводородов нефти и газовых конденсатов;
- в расчетах технологических процессов и при проектировании оборудования для химической, нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей и геологоразведочных отраслей.
- для прогнозных расчетов термических и калорических свойств углеводородов нефти и природных многокомпонентных углеводородных систем в широком диапазоне изменения термобарических условий, что особенно важно при совершенствовании процессов нефте- и конденсатоотдачи при разработке месторождений природных углеводородов;
- при разработке обобщенных, теоретически обоснованных методов прогнозирования переносных свойств углеводородов нефти и многокомпонентных углеводородных смесей природного происхождения.

### **Рекомендации по использованию результатов работы**

Полученные диссидентом индивидуальные и обобщенные уравнения состояния могут быть использованы в базах данных о термодинамических свойствах технически важных веществ, при проведении различных теплотехнических расчетов, при моделировании процессов добычи, транспорта и переработки углеводородного сырья и др.

### **Соответствие паспорту специальности**

По тематике, методам исследования, предложенным новым научным положением, диссертационная работа соответствует паспорту специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, в части пункта 2 - Аналитические и численные исследования теплофизических свойств веществ в различных агрегатных состояниях.

### **Замечания по диссертации**

1. При разработке единых для жидкой и газовой фазы уравнений состояния традиционно большое внимание уделяется описанию второго и третьего

вириальных коэффициентов. В диссертационной работе этот вопрос недостаточно освещен.

2. По полученным в диссертации уравнениям состояния для н-пентана, н-гексана и циклогексана не указана информация о том, какие критические индексы воспроизводятся этими уравнениями.
3. В диссертации четко не определены границы «квазиодножидкостного» приближения применительно к расчету термодинамических свойств стабильных смесей – нефтяных и газоконденсатных фракций.
4. Предлагаемая автором методика прогнозного расчета коэффициентов парного взаимодействия модели GERG базируется, в том числе, на кубическом уравнении PPR78. Следовало бы обосновать выбор именно этой модификации кубического уравнения состояния.
5. Природные углеводородные смеси зачастую контактируют в пласте с остаточной водой коллекторов и, как следствие, содержат в своем составе пары воды. Насколько эффективны, предлагаемые автором методы расчета фазовых равновесий для многокомпонентных систем, содержащих воду?
6. В заключении к диссертации не отражена практическая значимость полученных диссертантом результатов.

### **Заключение**

Диссертационная работа Александрова Игоря Станиславовича на тему «Моделирование термодинамических свойств и фазовых равновесий углеводородов и многокомпонентных углеводородных смесей на основе фундаментальных уравнений состояния», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук, является завершенной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, и имеет важное практическое значение.

Диссертация полностью соответствует требованиям п.п. 9-14, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук согласно «Положению о присуждении ученых степеней» (постановление Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 г. с актуальными на настоящий момент изменениями).

Считаю, что автор диссертации Александров Игорь Станиславович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника».

Я, Гумеров Фарид Мухамедович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Александрова Игоря Станиславовича (соискателя), и их дальнейшую обработку.

Официальный оппонент Гумеров Фарид Мухамедович, доктор технических наук по специальности 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника», профессор, заведующий кафедрой теоретических основ теплотехники Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Ф.М. Гумеров

10.02.2020

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

420015, Россия, г. Казань,

ул. К. Маркса, 68.

Тел. +7(843)231-42-11

E-mail: gum@kstu.ru

Подпись Гумерова Фарида Мухамедовича  
удостоверяю

Ученый секретарь

ФГБОУ ВО «КНИТУ»

10.02.2020



З. В. Коновалова

## СВЕДЕНИЯ ОБ ОФИЦИАЛЬНОМ ОПРОНЕНТЕ

по диссертационной работе Александрова Игоря Станиславовича на тему: «Моделирование термодинамических свойств и фазовых равновесий углеводородов и многокомпонентных углеводородных смесей на основе фундаментальных уравнений состояния» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.14 - Термофизика и теоретическая теплотехника.

№	Фамилия, Имя, Отчество	Учёная степень, ученое звание	Сведения о работе		Список основных публикаций по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет - для кандидатской и за 10 лет – для докторской (но не более 15 публикаций)
			Полное наименование организации,	Должность с указанием структурного подразделения	
1	Гумеров Фарид Мухамедович	доктор технических наук по специальности 01.04.14 – «Термофизика и теоретичес-	3	4	5
1	Гумеров Т.Р., Гумеров Ф.М., Определение давления насыщенных паров веществ на основе описания их растворимости в сверхкритическом диоксиде углерода / Сверхкритические флюиды: теория и практика. - 2019, т.14, в.2, с.40-65. 2. B. Le Neindre, P. Desmarest, G. Lombardi, M. Kayser, G. Chalvignac, Y. Garrabos, F. Gumerov, Thermal conductivity of gaseous and liquid n-pentane/ Fluid phase equilibria. 2018, т.460, с.146-154.				

кака теплотехни- ка», профессор	исследовательский технологический университет», 420015, Россия, г. Казань, ул. К. Маркса, 68. Тел. +7(843)231-42- 11, E-mail: gum@kstu.ru	<p>3. B. Le Neindre, G. Lombardi, P.H. Desmarest, M.Kayser, T.R. Bilalov, F.M. Gumerov, Y. Garrabos, Measurement of the thermal conductivity of n-hexane in the supercritical region / Fluid phase equilibria. 2019, т.481, с.66-102.</p> <p>4. Билалов Т.Р., Гумеров Ф.М., Расчет растворимости ароматических углеводородов в сверхкритических средах на основе энтропийного метода теории подобия / Теоретические основы химической технологии. 2019, т.53, в.4, с.387-401.</p> <p>5. Zufar I. Zaripov, Farid M. Gumerov, Vener F. Khairutdinov, Malgorzata Musial, Edward Zorebski, Marzena Dzida, Ilmuidin M. Abdulaqatov, Thermal conductivity and thermal diffusivity of Pyrrolidinium-BasedIonic liquids at atmospheric pressure / Fluid phase equilibria. 2019, в.485, с.135-145.</p> <p>6. V. F. Khairutdinov, F. M. Gumerov, M. I. Farakhov, Z. I. Zaripov, T.R. Akhmetzyanov, H. N. Truong, Extraction of hydrocarbons from oil emulsions with the use of a supercritical fluid extraction process with propanebutane extractant / Petroleum science and technology. 2018, в.23, с.1-6.</p> <p>7. B. Le Neindre, G. Lombardi, Ph. Desmarest, M. Kayser, Z.I. Zaripov, Y. Garrabos , F. Gumerov , Measurements of the thermal conductivity of ethene in the supercritical region / Fluid phase equilibria. 2018, в.459, с.119-128.</p> <p>8. Мазанов С.В., Усманов Р.А., Амирханов Р.Д.,</p>	

	<p>Гумеров Ф.М., Экспериментальное исследование процесса получения биодизельного топлива в сверхкритических флюидных условиях / Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2017, в.3-4, с.10-19.</p> <p>9. И.Ш. Хабриев, В.Ф. Хайрутдинов, З.И. Зарипов, Ф.М. Гумеров, В.А. Петров, Н.В. Кузнецова, Р.М. Хузаханов. Некоторые термодинамические характеристики процесса диспергирования парацетамола по методу SEDS // Сверхкритические флюиды: теория и практика. 2017, т.12, в.1, с.1-12.</p> <p>10. S. V. Mazanov, A. R. Gabitova, L. H. Miftahova, R. A. Usmanov, F. M. Gumerov, Z. I. Zaripov, V. A. Vasil'ev, and E. A. Karalyn, Preparing Biodiesel Fuel in Supercritical Fluid Conditions with Heterogeneous Catalysts // Russian journal of physical chemistry B. 2016, т.10, в.7, с.1099-1107.</p> <p>11. A. A. Zakharov, T. R. Bilalov, and F. M. Gumerov, Solubility of Ammonium Palmitate in Supercritical Carbon Dioxide / Russian journal of physical chemistry B. 2016, т.10, в.7, с.1092-1098.</p> <p>12. А.Р.Габитова,С.В.Мазанов,Р.А.Усманов,З.И.Зарипов,Ф.М. Гумеров, И.М.Абдуллагатов,“ Вискозиметрия как метод определения концентрации этиловых эфиров жирных кислот в биодизельном топливе / Научно-технический журнал "Химия и технология топлив и масел". 2017, в.1, с.47-51.</p>
--	--

			<p>13. V. F. Khairutdinov, T. R. Akhmetzyanov, F. R. Gabitov, Z. I. Zaripov, M. I., Farakhov, A. V. Mukhutdinov, F. M. Gumerov &amp; R. S. Yarullin, Extraction of oil-products from oil sludge with the use of liquid and supercritical fluid extraction processes with propane-butane extractant / Petroleum science and technology. 2016, т.34, в.4, с.372-378.</p> <p>14. Vener. F. Khairutdinov, Talgat R. Akhmetzyanov, Farizan R. Gabitov, Zufar I. Zaripov, Mansur I. Farakhov, Azat V. Mukhutdinov, Farid M.Gumerov, Disposal of Oil Sludge with the use of Liquid and Supercritical Fluid Extraction Processes with Propane-Butane Extractant / Petroleum science and technology. 2016, т.9, в.4, с.163-174.</p>

Сведения подтверждают:

Официальный оппонент

Ф.М. Гумеров

10.02.2020 г.

Подпись Гумерова Фарида Мухамедовича *уточнено*.

Ученый секретарь

ФГБОУ ВО «КНИТУ»

10.02.2020 г.

