

На правах рукописи

Ромашкин Макар Андреевич

**Математическо-информационные
модели и комплексы программ
интегрированной логистической
поддержки
поршневых компрессорных агрегатов
нефтехимических предприятий**

05.13.18 – Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ (технические науки)

05.17.08 – Процессы и аппараты химических технологий

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2014

Работа выполнена на кафедре «Машины и аппараты производственных процессов»
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего
профессионального образования «Пермский национальный исследовательский поли-
технический университет»

- Научный кандидат технических наук, доцент,
руководитель: Мошев Евгений Рудольфович,
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Пермский национальный исследовательский политехнический
университет»,
доцент кафедры «Машины и аппараты производственных
процессов»
- Научный кандидат технических наук,
консультант: Кантюков Рафкат Абдулхаевич,
общество с ограниченной ответственностью «Газпром трансгаз
Казань»,
генеральный директор
- Официальные доктор технических наук, профессор,
оппоненты: Корнюшко Валерий Федорович,
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Московский государственный университет тонких химических
технологии имени М.В. Ломоносова», заведующий кафедрой
информационных технологий
- доктор технических наук, профессор,
Казак Александр Соломонович,
общество с ограниченной ответственностью
«Научно-исследовательский институт экономики и организации
управления в газовой промышленности»,
первый заместитель генерального директора по науке
- Ведущая Федеральное государственное бюджетное образовательное
организация: учреждение высшего профессионального образования
«Уфимский государственный нефтяной технический университет»

Защита состоится 26 декабря 2014 года в ____ часов на заседании диссертационно-
го совета Д 212.204.10 при РХТУ им. Д. И. Менделеева (125047 г. Москва, Миусская
пл., д. 9) в аудитории ____.

С диссертацией можно ознакомиться в Информационно-библиотечном центре
РХТУ им. Д.И. Менделеева.

Автореферат диссертации разослан « » 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.204.10

Комиссаров Ю.А

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Устойчивое социально-экономическое развитие России зависит не только от применения в промышленности новых производственных мощностей, энерго- и ресурсоэффективных технологий и технических устройств, но и от использования новых методов логистики ресурсосбережения в сфере организации и управления производством. Одним из востребованных современных направлений логистики ресурсосбережения является разработка методов обеспечения надёжности или работоспособности действующего оборудования производств и предприятий нефтехимического комплекса (НХК), как сложных организационно-экономических химико-технологических систем. Настоящая работа посвящена применению методов интегрированной логистической поддержки (ИЛП) для одного из этапов жизненного цикла (ЖЦ) поршневых компрессорных агрегатов (ПКА) предприятий НХК – этапа эксплуатации. ПКА – это сложная техническая система, предназначенная для сжатия и транспортирования газообразной рабочей среды через сложные трубопроводные системы. ПКА состоит из поршневого компрессора (ПК), трубопроводов обвязки и технологического оборудования – буферных ёмкостей, сепараторов, теплообменников, дроссельных диафрагм. Эксплуатационная надёжность ПК обеспечивается системой технического обслуживания и ремонта (ТОиР), качество которой существенно зависит от уровня информационной логистической поддержки (ИЛП). ИЛП – это совокупность видов инженерной деятельности, реализуемых посредством управленческих, инженерных и информационных технологий, обеспечивающих высокий уровень готовности изделий при одновременном снижении затрат, связанных с их эксплуатацией и обслуживанием. В частности, интегрированная логистическая поддержка ПКА включает: формирование и сопровождение паспортно-технической документации (ПТД); проверку характеристик аппаратного оформления на соответствие требованиям нормативно-технической документации (НТД); планирование работ ТОиР; формирование ремонтной документации; оформление актов технического обследования; прогнозирование остаточного ресурса; анализ результатов технической диагностики. В настоящее время решение указанных задач ИЛП осуществляется преимущественно с помощью разрозненных комплексов программ (КП). Это приводит к многократному дублированию технологических и организационных операций с огромными массивами данных на всех этапах ЖЦ, что увеличивает трудоёмкость работ, способствует возникновению и накоплению ошибок ввода, появлению противоречивости и избыточности информации. Результатом разрозненной компьютеризации ИЛП является снижение качества ТОиР и, как следствие, уменьшение

эффективности и безопасности эксплуатации всего предприятия. Анализ научно-технической литературы и условий эксплуатации ПКА показал, что для повышения качества ТОиР следует применять современные компьютеризированные инструменты. Реализация компьютеризированной ИЛП технического обслуживания и ремонта ПКА является сложной задачей, так как требует знаний в области математического моделирования (ММ), системного анализа, информационных технологий, технологических процессов и организационно-управленческих бизнес-процессов, различных технических наук. Публикаций, посвящённых решению задач компьютеризации ИЛП поршневых компрессорных агрегатов, автором не обнаружено. Существующие в настоящее время КП и систем управления предприятием позволяют автоматизировать решение различных задач ИЛП технического обслуживания и ремонта промышленного оборудования и трубопроводов. Но в применении по отношению к ПКА они позволяют решать только ограниченный круг задач ИЛП технического обслуживания и ремонта. Они не реализуют важных функций инженерно-технологического расчёта частот пульсаций давления рабочей среды; вычисления объёма буферных ёмкостей и диаметра отверстий дроссельных диафрагм, предназначенных для гашения энергии пульсаций давления. Зарубежным КП характерны удалённость разработчика от пользователя; неполный учёт требований российских технологических регламентов и стандартов по организации процессов ТОиР и эксплуатации; высокая стоимость адаптации. В результате аналитического обзора научно-технической литературы и КП автором не выявлены работы по математическому моделированию, алгоритмам и комплексам программ компьютеризации или осуществления полной ИЛП технического обслуживания и ремонта ПКА. Исходя из вышеизложенного, разработка математическо-информационных моделей, алгоритмов и комплексов программ интегрированной логистической поддержки ПКА нефтехимических предприятий имеет актуальное значение для повышения эффективности и безопасности производств и предприятий НХК.

Цель диссертационной работы – разработка математическо-информационных моделей, алгоритмов и комплекса программ ИЛП технического обслуживания и ремонта ПКА, применение которых позволяет повысить эффективность, надежность и безопасность предприятий НХК. Для достижения указанной цели автором поставлены и решены следующие **задачи**:

1. Разработка фреймовой модели представления знаний о технологических, паспортно-технических и конструктивных характеристиках ПК нефтехимических предприятий.

2. Разработка обобщённой модели интегрированной логистической поддержки эксплуатируемых ПКА, включающей определение объёма буферных ёмкостей и диаметра отверстия дроссельных диафрагм с учётом требований НТД и условий эксплуатации.

3. Разработка математических моделей и алгоритмов расчёта частотно-технологических характеристик ступеней ПКА; показателя адиабаты рабочей газовой смеси; объёма буферной ёмкости, обеспечивающий нормативно-допустимую степень неравномерности давления в трубопроводах обвязки ПК; диаметра отверстия дроссельной диафрагмы для сглаживания энергии пульсаций давления рабочей среды.

4. Разработка алгоритма сравнения экспериментально-измерительных данных вибродиагностики ПКА с расчётными частотно-технологическими характеристиками ступеней ПКА.

5. Разработка алгоритма прогнозирования даты достижения ПКА недопустимого уровня вибрации.

6. Разработка архитектуры и режимов функционирования комплекса программ ИЛП эксплуатируемых ПКА, реализующих предложенные автором математические модели и алгоритмы.

Положения, выносимые на защиту.

1. Фреймовая модель представления декларативных знаний о технологических, паспортно-технических и конструкционных характеристиках ПК нефтехимических предприятий.

2. Обобщённая логико-информационная модель интегрированной логистической поддержки эксплуатируемых ПКА, включающая расчет объёма буферных ёмкостей и оптимального диаметра отверстия дроссельных диафрагм.

3. Логико-вычислительные модели конструкции системы цилиндропоршневых групп ПК.

4. Информационно-вычислительный алгоритм расчёта оптимального объёма буферной ёмкости, предназначенной для эффективного гашения пульсаций давления технологического потока.

5. Итерационный алгоритм расчёта диаметра отверстия диафрагм, рассеивающих энергию пульсаций давления рабочей среды.

6. Итерационный алгоритм сравнения экспериментально-измерительных данных вибродиагностики ПКА с расчётными частотно-технологическими характеристиками его ступеней.

7. Эвристическо-вычислительный алгоритм прогнозирования по результатам вибромониторинга даты достижения ПКА недопустимого уровня вибрации.

8. Архитектура и режимы функционирования комплекса программ интегрированной логистической поддержки эксплуатируемых поршневых компрессорных агрегатов.

Научная новизна основных результатов работы состоит в разработке математическо-информационных моделей и алгоритмов интегрированной логистической поддержки технического обслуживания и ремонта эксплуатируемых поршневых компрессорных агрегатов нефтехимических предприятий. В работе получены следующие основные результаты, имеющие характер научной новизны:

1. Разработана фреймовая модель декларативного представления знаний о ПК, отличающаяся отображением технологических, паспортно-технических и конструкционных характеристик, результатов технического диагностирования и проведённых ремонтов, что позволяет автоматизировать ИЛП действующих ПКА нефтехимических предприятий, а также исследовать свойства и режимы функционирования поршневых компрессоров.

2. Разработана обобщённая модель ИЛП эксплуатируемого ПКА, включающая алгоритмы расчёта частотно-технологических характеристик ступеней ПК и оптимальных конструкционных характеристик устройств гашения энергии пульсаций давления рабочей среды, которые обеспечивают повышение надёжности и безопасности ПКА, отличающаяся учётом концепции ИИС, требований нормативно-технической документации, системных взаимосвязей между процедурами вычисления промежуточных и выходных переменных ИЛП, что позволяет с помощью единого программного комплекса автоматизировать расчёт частот пульсаций давления рабочей среды в ступенях ПК, а также соответствующих требованиям НТД значений объёма буферной ёмкости и оптимального внутреннего диаметра дроссельных диафрагм.

3. Разработана логическо-вычислительная модель системы цилиндропоршневых групп (ЦПГ) поршневого компрессора, отличающаяся учётом числа оборотов коленчатого вала, количества цилиндров в ступени, количества рабочих ходов поршней, величины угла между осями текущего и базового цилиндров и величины угла между осями кривошипов смежных с текущим и базовым цилиндрами, что позволяет автоматизировать расчёт моментов подач рабочей среды в ступень для любого исполнения и типа цилиндров ПК.

4. Разработан информационно-вычислительный алгоритм расчёта оптимального размера буферной ёмкости, отличающийся использованием семейства аппроксимационных моделей номограмм, описывающих взаимосвязь между объёмом

буферной ёмкости, показателем адиабаты, числом, одновременно совершаемым подач рабочей среды в ступень ПКА, числом подач рабочей среды за один оборот коленчатого вала, отношением времени всаса (нагнетания) ко времени одного оборота коленчатого вала, объёмом цилиндра и степенью неравномерности давления, что позволяет автоматизировать и повысить точность определения вместимости буфера V_b , обеспечивающей нормативно-допустимую величину степени неравномерности давления δ в трубопроводных системах ПКА.

5. Разработан итерационный алгоритм расчёта дроссельных диафрагм, отличающийся учетом значений температуры, давления, молекулярной массы, скорости звука, расхода и показателя адиабаты рабочей среды, универсальной газовой постоянной и процента допустимых гидравлических потерь, что позволяет автоматизировать расчёт оптимального диаметра отверстия рассеивающей энергию потока диафрагмы.

6. Разработан итерационный алгоритм расчёта резонансных частот колебаний трубопроводных систем ПКА, отличающийся использованием экспериментально-измеренных параметров вибрации и расчётных частотно-технологических характеристик ПКА, что позволяет выявлять частоты пульсаций давления рабочей среды, возбуждающие повышенную вибрацию трубопроводных систем для последующего принятия монтажно-технических решений по их отстройке.

7. Разработан эвристическо-вычислительный алгоритм определения характеристик надежности поршневого компрессорного агрегата, отличающийся учётом результатов дискретного вибромониторинга, а также использованием комплекта стандартных аппроксимационных зависимостей, что позволяет автоматизировать решение задачи прогнозирования даты достижения элементами ПКА недопустимого нормативно-технической документацией уровня вибрации.

8. Разработаны архитектура, программно-информационное обеспечение, вычислительно-сетевая структура и режимы функционирования комплекса программ «ЭЛПАДО», программно реализующего предложенные информационно-эвристическо-вычислительные модели и алгоритмы, применение которых позволяет существенно повысить качество, снизить стоимость и трудоёмкость ИЛП технического обслуживания и ремонта ПКА.

Научная и практическая значимость. Разработанные модели и алгоритмы вносят определенный вклад в развитие теории ИЛП поршневых компрессорных агрегатов как составной части динамического оборудования (ДО) предприятий НХК. Предложенная общая

фреймовая модель ДО и её частный случай – фреймовая модель декларативного представления знаний о ПК практически использованы при разработке комплекса программ «ЭЛПАДО», являющегося составной частью комплекса программ «СИБУР-Трубопровод». Разработанные модели и алгоритмы могут быть практически использованы в процессе работы экспертных организаций для расчёта конструкционных характеристик буферных ёмкостей и сглаживающих диафрагм, удовлетворяющих требованиям нормативно-технической и методической документации, при определении причин повышенной вибрации трубопроводов обвязки ПКА. Разработанные алгоритмы обработки экспериментально-измерительных данных вибродиагностики и прогнозирования технического состояния ПКА могут быть практически использованы при решении задач экспертизы промышленной безопасности ПКА.

Реализация результатов работы. Основные результаты работы реализованы в процессе разработки комплекса программ «ЭЛПАДО», предназначенного для работы с данными по ДО и входящему в состав комплекса программ «СИБУР-Трубопровод». Комплекс программ «ЭЛПАДО» может быть использован в проектных, экспертных и эксплуатирующих организациях, работающих в нефтехимической отрасли промышленности.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на III международной Интернет-конференции молодых ученых, аспирантов, студентов «Инновационные технологии: теория, инструменты, практика (INNOTECH 2011)» (Пермь, 2011); Международной заочной научно-практической конференции «Теоретические и прикладные проблемы науки и образования в 21 веке» (Тамбов, 2012); Международной заочной научно-практической конференции «Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности» (Тамбов, 2013); XV региональной научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Химия. Экология. Биотехнология-2013» (Пермь, 2013); I региональной отраслевой научно-практической конференции «Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной промышленности» (Соликамск, 2013), 10-й всероссийской научно-практической конференции «Информация, инновации, инвестиции-2012» (Пермь, 2012); I Региональной научно-технической конференции студентов и молодых ученых «Проблемы химии, химической технологии и биотехнологии-2013» (Пермь, 2013); II всероссийской отраслевой научно-практической конференции «Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной

промышленности» (Пермь, 2014); Международной заочной научно-практической конференции «Наука и образование в XXI веке» (Москва, 2014).

Публикации. Основные положения диссертации отражены в 21 работах, в том числе в 5-ти публикациях в журналах, рекомендованных ВАК. По результатам работы получено свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ «Программный модуль для электронной паспортизации динамического оборудования».

Объем и структура работы. Диссертационная работа, включающая в себя введение, четыре главы, заключение, семь приложений, изложена на 187 страницах, содержит 66 иллюстрации. Список литературы состоит из 140 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулирована цель и задачи работы, изложена научная новизна и практическое значение результатов работы.

В первой главе приведены результаты системного анализа процесса ТОиР поршневого компрессорного агрегата. Установлено, что наиболее значимым фактором, влияющим на работоспособность ПКА, является уровень вибрации элементов его конструкции. В результате анализа научно-технической литературы не выявлено математических моделей и алгоритмов, позволяющих комплексно решать актуальные задачи ИЛП технического обслуживания и ремонта ПКА, таких как определение объёма гасящих энергию пульсаций давления рабочей среды буферных ёмкостей; определение диаметра отверстия рассеивающих энергию потока дроссельных диафрагм; поиск измеренных частот колебаний элементов конструкции ПКА, совпадающих с частотой пульсаций рабочей среды; прогнозирование по результатам вибродиагностики даты достижения элементами ПКА недопустимого уровня вибрации. Однако были найдены методики решения этих задач. Приведена краткая характеристика современных КП для компьютеризации ИЛП технического обслуживания и ремонта ПКА. Рассмотренные комплексы программ не позволяют решать указанные выше актуальные задачи ИЛП.

Во второй главе приведены результаты разработки общей фреймовой (ФР) модели ДО и ее составной части – ФР модели декларативного представления знаний о ПК, которые создавались в соответствии с методикой, предложенной в работах чл.-корр. РАН, проф. Мешалкина В.П. и его учеников, и необходимы для автоматизации разработанных в третьей главе алгоритмов решения поставленных в исследовании задач. Общая ФР модель ДО разрабатывалась как расширение базовой модели оборудования и трубопроводов предприятия НХК, использовавшейся при разработке КП «СИБУР-Трубопровод». Между ДО, трубопро-

водами и сосудами, входящими в один компрессорный агрегат, предусмотрены ассоциативные связи. Модель ДО является взаимосвязанной совокупностью четырёх информационных структур ФР: «Основные характеристики» (общая для всех видов ДО, «по умолчанию» включает две группы характеристик «Изготовление и монтаж», «Габаритные размеры»); «Технологические характеристики» (содержит четыре уровня иерархии («Поток», «Ступень», «Технологический режим», «Компонент среды»), необходимые для описания условий работы ДО одновременно с несколькими средами при различных режимах); «Конструкционные характеристики» (содержит параметры конструктивных элементов ДО, разделённых на две группы: 1-ая – элементы, общие для всего ДО (привод; подшипник качения и скольжения; уплотнение и др.); 2-ая – элементы, уникальные для определенного ДО (рабочее колесо, поршень и др.)); «Техническое обслуживание» (содержит записи о ремонтах и результаты периодических геометрических замеров элементов конструкции ДО). Разработка ФР модели ПК осуществлялась с помощью анализа ПТД; записей результатов диагностирования и ремонтов; научно-технической и производственно-технической литературы. Фреймовая модель ПК содержит около 220 атрибутов и характеризуется набором структур: «Основные характеристики» дополнены записями «Паспортные данные», «Система смазки»; уровни иерархии записи «Технологические характеристики» содержит набор атрибутов, характерный для ПК; «Конструкционные характеристики» (элементы ПК расположены на трех уровнях иерархии: 1-ый – «Привод», «Редуктор», «Коленчатый вал» и др.; 2-ой – подшипники «Качения» и «Скольжения», «Коренная» и «Шатунная» шейки, «Шатун» и его крепеж, «Крейцкопф», «Корпус цилиндра», «Шток», «Палец поршня», «Поршень» и др.; 3-ий – «Колесо редуктора», стороны «Прямого» и «Обратного» хода поршня, «Поршневое кольцо» и др.); «Техническое обслуживание» (записи «Уклон вала от горизонтального положения», «Карты замеров» конструктивных элементов, а также записи «Зазор между ротором и статором», «О проверках узлов и деталей и их ремонтах»).

В третьей главе приводятся результаты разработки моделей и алгоритмов, необходимых для решения актуальных задач ИЛП на этапе эксплуатации ПКА. Разработана обобщённая логико-информационная модель интегрированной логистической поддержки эксплуатируемого ПКА (рис.1). На рис.2 приведена декомпозиция блока А2 (см. рис.1), которая задаёт последовательность вычислительных процедур и распределения между ними информационных переменных. Для выполнения каждой вычислительной процедуры разработаны алгоритмы: 1, 3÷7 (см. рис.2) и 2, 8, 9 (см. рис.1).

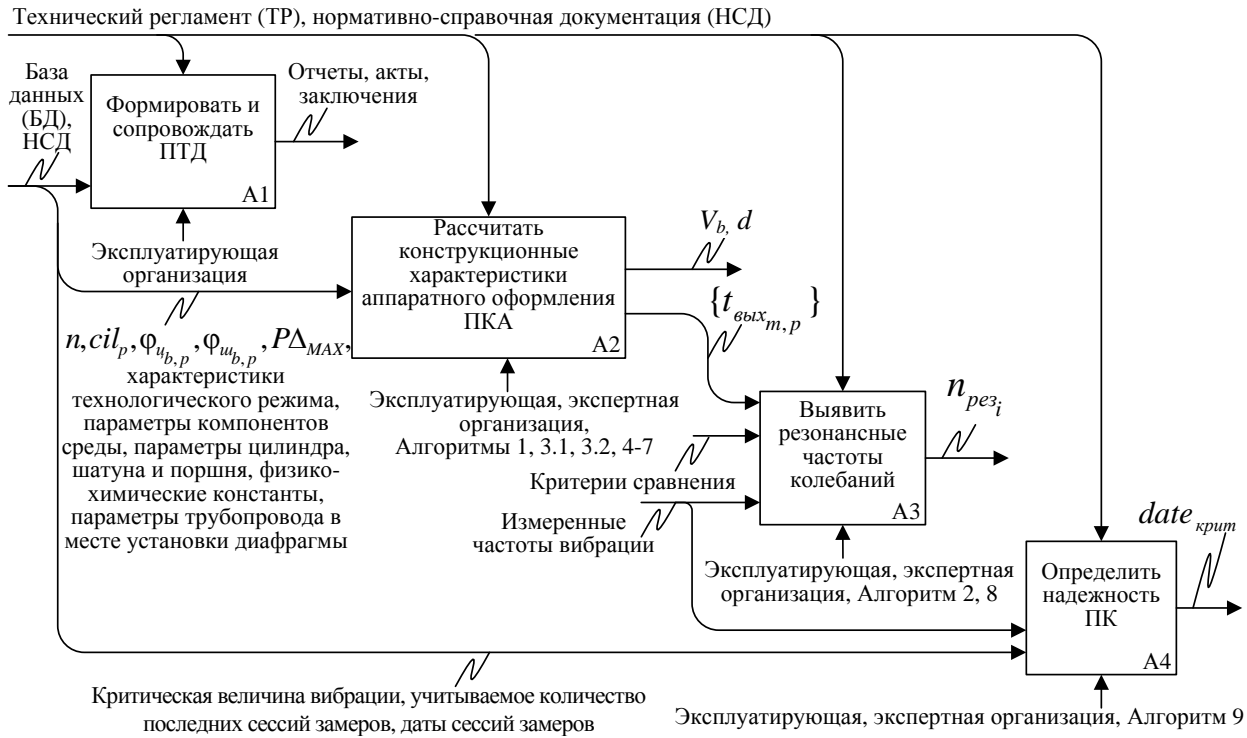


Рис.1 – Блок-схема логико-информационной метамодели ИЛП эксплуатируемых поршневых компрессорных агрегатов, где n – частота оборотов КВ; cil_p – число цилиндров p -ой ступени; $\varphi_{ub,p}$ – угол между осями b -го (текущего) и базового цилиндров; $\varphi_{ub,p}$ – угол между осями кривошипов b -го и базового цилиндра; $P\Delta_{MAX}$ – допустимые гидравлические потери диафрагмы в процентах от среднего давления в трубопроводе; $n_{рез_i}$ – резонансные частоты; $date_{крит}$ – дата достижения предельного уровня вибрации

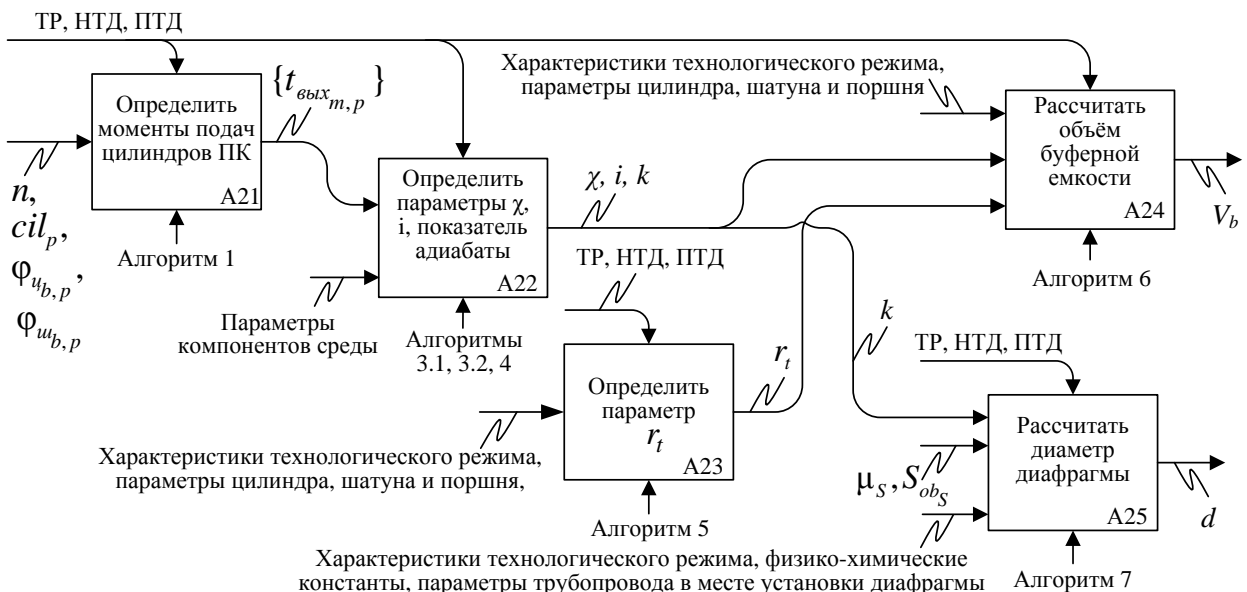


Рисунок 2 – Блок-схема декомпозиции блока A2

Обобщённая модель отличается наличием системных взаимосвязей между процедурами вычисления промежуточных и выходных переменных ИЛП, что позволяет с помощью

единого КП автоматизировать решение поставленных в диссертационном исследовании задач. Для описания обобщённой модели использовалась методология структурного анализа и проектирования SADT. **Алгоритм 1** предназначен для формирования множества моментов подач рабочей среды в ступени ПКА $\{t_{выхsb,p}\}$. Интеллектуальной основой алгоритма 1 является логическо-вычислительная модель системы ЦПГ, которая отличается учётом числа оборотов коленчатого вала (КВ), количества цилиндров ступени и числа рабочих ходов поршня, угла между осями b -го и базового цилиндров, угла между осями кривошипов смежных с b -ым и базовым цилиндрами, что позволяет автоматизировать расчёт моментов подач рабочей среды в ступень ПКА при любом конструктивном оформлении базы ПК и цилиндрах простого и двойного принципов действия. Разработка модели системы ЦПГ осуществлялась с помощью анализа описанных в научно-технической литературе вариантов конструктивного оформления баз ПК и анализа кинематической схемы ЦПГ (рис.3).

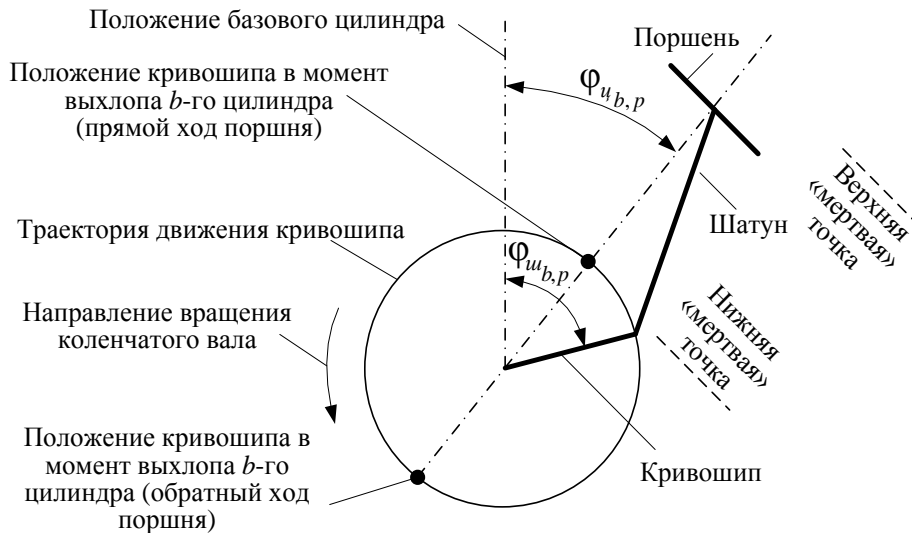


Рис.3 – Принципиальная кинематическая схема ЦПГ для b -го цилиндра

Логическо-вычислительная модель системы ЦПГ для поршневого компрессора с цилиндрами простого действия запишется в виде выражения (1):

$$\{t_{выхb,p}\} = \{t_{вых_npb,p}\} = \begin{cases} (360 - (\varphi_{cb,p} - \varphi_{wb,p})) / (n \cdot 360), \varphi_{wb,p} \leq \varphi_{cb,p} \\ (\varphi_{wb,p} - \varphi_{cb,p}) / (n \cdot 360), \varphi_{cb,p} < \varphi_{wb,p} \leq 360 \end{cases} \quad (1)$$

Для ПК с цилиндрами двойного действия модель дополнится выражением определения моментов выхлопа рабочей среды при обратном ходе поршня (2) и выражением (3):

$$\{t_{вых_обpb,p}\} = \begin{cases} t_{вых_npb,p} - 1/(2 \cdot n), t_{вых_npb,p} \geq 1/(2 \cdot n) \\ t_{вых_npb,p} + 1/(2 \cdot n), t_{вых_npb,p} < 1/(2 \cdot n) \end{cases} \quad (2)$$

$$\{t_{выхb,p}\} = \{t_{вых_npb,p}\} \cup \{t_{вых_обpb,p}\} \quad (3)$$

Алгоритм 2 предназначен для расчёта частот пульсаций давления рабочей среды ($n_{\text{вых}_{f,p}}$) при помощи выражений (4) и (5):

$$n_{\text{вых}_{f,p}} = 1 / \left| t_{\text{вых}_{b,p}} - t_{\text{вых}_{b-1,p}} \right|, \quad (4)$$

$$n_{\text{вых}_{f,p}} = 1 / t_{\text{вых}_{b,p}}, \quad (5)$$

где $f = \overline{1, N_n}$ – номер частоты для p -ой ступени ПКА, N_n – количество учитываемых частот.

Алгоритм 3.1 предназначен для расчёта параметра χ (количество одновременно совершаемых подач рабочей среды в ступень ПК), необходимого для определения объёма буферной ёмкости. Алгоритм отличается учётом данных о моментах подач рабочей среды в ступени ПК и количестве цилиндров в каждой ступени, что позволяет автоматизировать расчёт χ и оценить максимальную мощность выхлопа ПК. **Алгоритм 3.2** служит для расчёта параметра i и отличается использованием данных о числе цилиндров в ступенях ПКА и максимальном количестве одновременно совершаемых в ступени подач рабочей среды, что позволяет автоматизировать расчёт значения числа подач рабочей среды за один оборот КВ для произвольной конструктивной базы ПК. **Алгоритм 4** предназначен для расчёта показателя адиабаты смеси газов и отличается учётом компонентного состава газовой смеси, а также использованием базы данных показателей адиабаты k_s и молекулярной массы μ_s различных газовых компонентов, что позволяет автоматизировать определение значения k для рабочей среды произвольного состава. **Алгоритм 5** предназначен для расчёта отношения времени всасывания (нагнетания) поршня ко времени одного оборота КВ r_t и отличается использованием семейства аппроксимационных моделей номограмм, описывающих взаимосвязь между степенью сжатия, показателем политропы рабочей среды, долей мёртвого пространства цилиндра, величине отношения длины шатуна к ходу поршня и искомой величины, что позволяет не только автоматизировать процесс определения параметра r_t , но и повысить точность получаемого результата. **Алгоритм 6** предназначен для расчёта объёма буферной ёмкости V_b и отличается использованием семейства аппроксимационных моделей номограмм, описывающих взаимосвязь между объёмом буферной ёмкости, показателем адиабаты, числом, одновременно совершаемым подач рабочей среды в ступень ПКА, числом подач рабочей среды за один оборот КВ, отношением времени всаса (нагнетания) ко времени одного оборота КВ, объёмом цилиндра и степенью неравномерности давления, что позволяет автоматизировать и повышать точность определения вместимости буфера, обеспечивающей нормативно-допустимую величину степени неравномерности давления δ в трубопроводных системах ПКА. **Алгоритм 7** предназначен для расчёта дроссельных диафрагм и отличается учётом значений диаметра трубопровода; температуры, давления, молеку-

лярной массы, показателя адиабаты, расхода и скорости звука рабочей среды; универсальной газовой постоянной и заданного процента гидравлических потерь, что позволяет автоматизировать определение оптимального диаметра отверстия сглаживающей пульсации давления рабочей среды диафрагмы. **Алгоритм 8** предназначен для выявления резонансных частот колебаний элементов ПКА и отличается поиском совпадений экспериментально-измеренных частот вибраций элементов конструкции ПКА с частотами пульсаций давления рабочей среды, что позволяет выявить резонансные частоты колебаний элементов ПКА и использовать полученную информацию для разработки монтажно-технических решений по отстройке трубопроводов от резонансных частот колебаний. **Алгоритм 9** предназначен для расчёта характеристик надёжности ПКА и отличается учётом результатов дискретного вибромониторинга, использованием комплекта стандартных аппроксимационных зависимостей, что позволяет автоматизировать решение задачи прогнозирования даты достижения элементами ПКА недопустимого нормативно-технической документацией уровня вибрации.

Четвертая глава посвящена описанию результатов разработки программно-информационного обеспечения и практического применения КП «ЭЛПАДО» интегрированной логистической поддержки ДО, входящего в состав клиент-серверного приложения «СИБУР Трубопровод», который реализует предложенные модели и алгоритмы. КП реализован на языке C++ при использовании средств объектно-ориентированного программирования Microsoft Visual Studio в среде Windows. Архитектура КП имеет строение в виде комплекса функциональных блоков, связанных радиально с базой данных. Программное обеспечение состоит из блоков: «Электронный формуляр» (ввод и обработка паспортно-технических данных ПК); «Отчёты» (реализация процессов выбора типа документа, обработки данных, генерации файла электронной эксплуатационной документации); «Буферная ёмкость» (расчёт по разработанным моделям и алгоритмам оптимального объёма буферной ёмкости); «Диафрагма» (расчёт по разработанному алгоритму диаметра отверстия диафрагмы, удовлетворяющего заданной величине гидравлических потерь в трубопроводах обвязки ПК); «Прогноз» (определение по результатам обработки данных вибродиагностики даты достижения элементами ПК предельного состояния); «Частотный анализ» (выявление по результатам вибродиагностики и аналитических расчётов резонансных частот колебаний). Информационное обеспечение состоит из блока «База данных», назначением которого является ввод, хранение, защита, обработка данных, осуществление связи с другими подсистемами КП по трубопроводам и аппаратам (рис. 4).



Рис.4 – Структура блока «База данных»

Приведены результаты практического применения комплекса программ «ЭЛПАДО». Пользователями КП было внесено единиц ПК в количестве 19 агрегатов. Постоянная часть БД параметров элемента «Электродвигатель» насчитывает 12688 записей (около 200 модификаций 58 моделей электродвигателей); элемента «Подшипник качения» – 2169 записей. Разработанные модели и алгоритмы тестировались на исходных данных вибродиагностики и результатах экспертизы промышленной безопасности ПКА предприятий НГХК Пермского края. Итоги тестирования позволяют сделать вывод о соответствии значений (результаты работы алгоритмов), аналогичным величинам, получаемых при обработки данных экспертами в области промышленной безопасности и вибродиагностики. Программная реализация моделей и алгоритмов будет способствовать сокращению времени проектирования устройств гашения пульсаций давления рабочей среды, высокой оперативности получения экспертной оценки технического состояния ПКА при общем повышении качества ТОиР, положительному влиянию на эффективность и безопасность эксплуатации предприятий НХК в целом.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Разработана ФР модель декларативного представления знаний о ПК, которая позволяет автоматизировать ИПП действующих ПКА нефтехимических предприятий, а также исследовать свойства и режимы функционирования поршневого компрессоре. Разработана обобщённая модель ИПП эксплуатируемого ПКА, включающая расчёт частотно-технологических характеристик ступеней ПК и оптимальных конструкционных характеристик устройств гашения энергии пульсаций давления рабочей среды, которые обеспечивают повышение надёжности и безопасности ПКА, что позволяет с помощью единого программного комплекса автоматизировать расчёт частот пульсаций давления рабочей среды в ступенях ПК, а также соответствующих требованиям НТД значений объёма буферной ёмкости и оптимального

внутреннего диаметра дроссельных диафрагм. Разработана логическо-вычислительная модель системы цилиндропоршневых групп ПК, позволяющая автоматизировать расчёт моментов подач рабочей среды в ступень для любого конструктивного исполнения и типа цилиндров ПК. Разработан информационно-вычислительный алгоритм расчёта оптимального размера буферной ёмкости, который позволяет автоматизировать и повысить точность определения вместимости буфера V_b , обеспечивающей нормативно-допустимую величину степени неравномерности давления δ в трубопроводных системах ПКА. Разработан итерационный алгоритм расчёта дроссельных диафрагм, позволяющий автоматизировать расчёт оптимального диаметра отверстия рассеивающей энергию потока диафрагмы. Разработан итерационный алгоритм расчёта резонансных частот колебаний трубопроводных систем ПКА, позволяющий выявлять частоты пульсаций давления рабочей среды, возбуждающие повышенную вибрацию трубопроводных систем для последующего принятия монтажно-технических решений по их отстройке. Разработан эвристическо-вычислительный алгоритм определения характеристик надёжности ПКА, позволяющий автоматизировать решение задачи прогнозирования даты достижения элементами ПКА недопустимого НТД уровня вибрации. Разработаны архитектура и режимы функционирования комплекса программ «ЭЛПАДО», который позволяет на основе предложенных автором моделей и алгоритмов автоматизировать решение задач ИЛП технического обслуживания и ремонта ПКА.

Основные работы, опубликованные по теме диссертации

1. Ромашкин М.А. Разработка информационной модели для компрессорного оборудования предприятий нефтегазового комплекса // Бурение&Нефть. 2012. №3. С.60-63. (соавт. Мошев Е.Р., Рябчиков Н.М., Беляев В.М.).
2. Ромашкин М.А. Разработка программного модуля для интегрированной логистической поддержки динамического оборудования предприятий нефтегазового комплекса // Бурение&Нефть. 2013. №11. С.54-56. (соавт. Мошев Е.Р., Рябчиков Н.М., Власов В.Г., Мырзин Г.С.).
3. Ромашкин М.А. Разработка концептуальной модели поршневого компрессора для автоматизации информационной поддержки динамического оборудования // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2013. №10. С.28-31. (соавт. Мошев Е.Р.).
4. Ромашкин М.А. Разработка информационной модели поршневого компрессорного оборудования // Научно-технический вестник Поволжья. 2012. № 6. С.402-408.
5. Ромашкин М.А. Модели и алгоритмы расчета устройств для гашения пульсаций газообразной среды в трубопроводных системах // Прикладная информатика. 2014. №2. С.56-76. (соавт. Мошев Е.Р.).

6. Ромашкин М.А. Опыт использования автоматизированной системы «Трубопровод» при техническом надзоре и экспертизе промышленной безопасности технологических трубопроводов // Химическая техника. 2012. №5. С.37-42. (соавт. Мошев Е.Р., Мырзин Г.С., Власов В.Г., Рябчиков Н.М.)

7. Ромашкин М.А. Реализация механизма интеграции программных систем АСОД "Трубопровод" и РСMS // Химическая техника. 2013. №5. С.39-43. (соавт. Мошев Е.Р., Мырзин Г.С., Власов В.Г., Рябчиков Н.М., Исаев Е.С.).

8. Ромашкин М.А. Опыт использования автоматизированной системы «Трубопровод» при техническом надзоре и экспертизе промышленной безопасности технологических трубопроводов // Промышленная безопасность на взрывопожарных и химически опасных производственных объектах: сб. мат-лов VI-ой научн.-практ. конф., г.Уфа, 23-24.05.2012 г.: Уфа, издательство УГНТУ, 2012. С.99-110. (соавт. Мошев Е.Р., Мырзин Г.С., Власов В.Г., Рябчиков Н.М.).

9. Ромашкин М.А. Реализация механизма совместного использования программных систем АСОД "Трубопровод" и РСMS // Промышленная безопасность на взрывопожарных и химически опасных производственных объектах: сб. материалов VII-ой научн.-практ. конф., г.Уфа 22-23.05.2013 г.: Уфа, издательство УГНТУ, 2013. С.17-25. (соавт. Мошев Е.Р., Мырзин Г.С., Власов В.Г., Рябчиков Н.М., Исаев Е.С.).

10. Ромашкин М.А. Разработка модели автоматизированной системы для информационной поддержки технического обслуживания поршневых компрессоров: мат-лы III Междунар. интернет-конф. молодых ученых, аспирантов, студентов «Инновационные технологии: теория, инструменты, практика (INNOTECH 2011)»: ПНИПУ, 2012. (соавт. Мошев Е.Р.).

11. Ромашкин М.А. Автоматизация информационной поддержки технического обслуживания поршневых компрессоров // Теоретические и прикладные проблемы науки и образования в 21 веке: сб.н.тр. по мат-лам междунар. заоч. науч.-практ. конф., г.Тамбов, 31.01.2012 г.: в 10 ч. Часть 6: г.Тамбов, «Бизнес-Наука-Общество», 2012. С.120-124. (соавт. Мошев Е.Р.).

12. Ромашкин М.А. Разработка методики автоматизированного расчета буферных емкостей для гашения пульсаций рабочей среды в поршневых компрессорных агрегатах // Актуальные вопросы в научной работе и образовательной деятельности: сб.н.тр. по мат-лам междунар. заочн. науч.-практ. конф., г.Тамбов, 31.01.2013 г.: в 13 ч. Часть.13: г.Тамбов, ТРОО «Бизнес-Наука-Общество», 2013. С.118-121. (соавт. Мошев Е.Р.).

13. Ромашкин М.А. Многоуровневая информационная модель поршневого компрессорного оборудования и ее использование для автоматизации расчета буферных емкостей

// : сб. мат-лов XV рег. научн.-практ. конф. «Химия. Экология. Биотехнология-2013», г.Пермь, 24-25.04.2013 г.: издательство ПНИПУ, 2013. С.41-43. (соавт. Мошев Е.Р.).

14. Ромашкин М.А. Концепция, результаты разработки и внедрения автоматизированной системы для информационной поддержки технологического оборудования и трубопроводов промышленных предприятий // сб. мат-лов I рег. научн.-практич. конф. «Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной промышленности», г.Соликамск, 2.03.2013 г.: Пермское ЦНТИ, 2013. С.228-236. (соавт. Е.Р. Мошев, Г.С. Мырзин, Н.М. Рябчиков, В.Г. Власов, В.М. Беляев)

15. Ромашкин М.А. Разработка и технология использования автоматизированной системы для информационной поддержки оборудования и трубопроводов химических производств // Вестник ПНИПУ. 2012. №14. С.83-91. (соавт. Е.Р. Мошев, Г.С. Мырзин, Н.М. Рябчиков).

16. Ромашкин М.А. Разработка информационной модели динамического оборудования химических производств // Вестник ПНИПУ. 2012. №14. С.91-98. (соавт. Е.Р. Мошев).

17. Ромашкин М.А. Разработка и возможности использования автоматизированной системы для информационной поддержки технологического оборудования и трубопроводов промышленных предприятий // Информация., инновации, инвестиции-2012: мат. X всеросс. конф., г.Пермь, 18-19.12.2012 г.: ЦНТИ, 2012. С.92-96. (соавт. Мошев Е.Р., Мырзин Г.С., Власов В.Г., Рябчиков Н.М., Беляев В.М.).

18. Ромашкин М.А. Механизм совместного использования АСОД "Трубопровод" и РСMS // ТехНАДЗОР. 2013. №5. С.98-102. (соавт. Мошев Е.Р., Мырзин Г.С., Власов В.Г., Рябчиков Н.М., Исаев Е.С.).

19. Ромашкин М.А. Автоматизированная система для информационной поддержки трубопроводов и сосудов химических производств // Химагрегаты. 2013. №4. С.28-31 (соавт. Мошев Е.Р., Мырзин Г.С., Власов В.Г., Рябчиков Н.М.).

20. Ромашкин М.А. Разработка комплекса информационных моделей и программного модуля для интегрированной логистической поддержки динамического оборудования нефтегазохимических производств // Наука и образование в XXI веке: сб. науч. тр. междунар. научн.-практ. конф. 30.12.2013. Часть V., М.: «АР-Консалт», 2014. С. 67-69. (соавт. Е.Р. Мошев).

21. Ромашкин М.А. Разработка программного модуля для электронной паспортизации динамического оборудования // сб. мат-лов II всеросс. научн.-практич. конф. «Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной промышленности», г.Пермь, 28.02.2014 г.: Пермский ЦНТИ, 2014. С.144-149. (соавт. Е.Р. Мошев).