

# ИННОВАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ ИСПЫТАНИЙ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК НАЗЕМНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

**Е. В. Шитикова**

Начальник группы запуска и испытаний, аспирант  
Управление энергоустановок и газоперекачивающих агрегатов  
АО "Мотор Сич"

Кафедра программных средств

Запорожский национальный технический университет  
пр. Моторостроителей, 15, г. Запорожье, Украина, 69068

Контактный тел.: (061) 720-45-28

E-mail: helenshitikova@gmail.com

**Г. В. Табунщик**

Кандидат технических наук, доцент

Кафедра программных средств

Запорожский национальный технический университет  
ул. Жуковского, 63, г. Запорожье, Украина, 69063

Контактный тел.: (061) 769-82-67

E-mail: galina.tabunshchik@gmail.com

**В. Н. Разношинский**

Главный конструктор

Управления энергоустановок и газоперекачивающих агрегатов  
АО "Мотор Сич"

пр. Моторостроителей, 15, г. Запорожье, Украина, 69068

Контактный тел.: (061) 720-45-28

E-mail: oeu.ugk@motorsich.com

*Розглянута проблема підвищення ефективності управління процесом дослідних випробувань газотурбінних установок наземного застосування. У роботі виконано реінжиніринг процесу дослідних випробувань з урахуванням специфіки дослідних випробувань газоперекачувального агрегату*

*Ключові слова: ГТУ наземного використання, дослідні випробування, реінжиніринг*

*Рассмотрена проблема повышения эффективности управления процессом исследовательских испытаний газотурбинных установок наземного применения. В работе выполнен реинжиниринг процесса исследовательских испытаний с учетом специфики исследовательских испытаний газоперекачивающего агрегата*

*Ключевые слова: ГТУ наземного применения, исследовательские испытания, реинжиниринг*

*The article deals with the questions of a efficient management by research test process of the gas turbine units for terrestrial usage. Authors have executed reengineering of research test process taking into account specificity of complex research tests of the gas pumping station*

*Keyword: GTU for terrestrial usage, research tests, reengineering*

## 1. Введение

Современный период развития техники характеризуется усложнением вновь создаваемых технических систем, что неизменно ведет к росту значения их надежности и безопасности и выдвигает эти показатели в качестве первостепенных [1].

К сложным техническим системам относятся и газотурбинные установки наземного применения (ГТУ НП), которые рассматриваются эксплуатирующими организациями как установки непрерывного действия, обеспечивающие бесперебойную работу в течение длительного рабочего времени. Для достижения хороших эксплуатационных характеристик установок с высокой степенью надежности и безопасности огромную роль играют испытания.

Испытания ГТУ НП, представляют собой процесс, характеризующийся большим объемом решаемых задач, многоуровневостью этапов испытаний, неодно-

родностью информационных потоков, многообразием оцениваемых характеристик, наличием ограниченных материальных и нематериальных ресурсов [2].

Среди различных видов испытаний немаловажное значение имеет процесс исследовательских испытаний, основное содержание которого составляют многочисленные и разнообразные испытания работоспособности и взаимодействия новых систем и узлов. Эффективное управление этими испытаниями является актуальной задачей.

## 2. Постановка задачи

Исследовательские испытания проводят как при создании новых изделий, так и для существующих разработок.

Для новых разработок, являющихся по своей сути уникальными изделиями с новыми функциональ-

ми свойствами и взаимосвязями между элементами конструкции, исследовательские испытания проводят при доводочных работах. Целью таких работ является обеспечение требуемых (заявленных) характеристик ГТУ, показателей прочности и надежности.

Однако исследовательским испытаниям подвергаются не только вновь разработанные ГТУ. В течение жизненного цикла ГТУ НП из-за стечения неблагоприятных условий эксплуатации могут возникать отказы или отклонения ранее не проявлявшиеся. Также условия рынка ГТУ требуют проведения модернизации технически и морально устаревших моделей. В этих случаях для внесения принципиальных изменений в конструкцию или технологию изготовления может потребоваться проведение исследовательских испытаний.

Объектом исследовательских испытаний могут являться как ГТУ в целом, так и отдельные ее системы и узлы. В этих испытаниях в зависимости от целей могут определяться реальные характеристики объекта испытаний, оптимизироваться режимы совместной работы узлов. По результатам исследовательских испытаний выясняются причины отклонений от проектных данных, проверяется эффективность мероприятий по устранению дефектов и улучшению основных показателей по мощности, экономичности, устойчивости, надежности и безопасности.

Перечисленные выше особенности процесса исследовательских испытаний являются характерными для сложных технических систем и поэтому требуют особых подходов к управлению. В этом могут помочь методы управления проектами [3], управления качеством [4] и инженерии знаний [5].

Комбинирование данных методов позволит провести систематизацию и документирование (формализацию) информации, значимой для данного процесса, что обеспечивает:

- технологическую основу для сохранения и доступности специализированных знаний о процессе исследовательских испытаний;
- повышение уровня управляемости ресурсами за счет качественной формализации регламентов их использования;
- создание методологической и технологической основы для поэтапного реинжиниринга (оптимизации) процесса исследовательских испытаний, что даст

возможность оптимизировать процесс при изменении условий проведения исследовательских испытаний.

Целью работы является формализация процесса испытаний, что позволит повысить эффективность управления данным процессом.

Для достижения этой цели необходимо выполнить декомпозицию и оптимизировать процесс исследовательских испытаний ГТУ НП.

### 3. Декомпозиция процесса исследовательских испытаний

Для реинжиниринга процесса исследовательских испытаний в первую очередь необходимо построить модель текущего состояния процесса.

Во всех видах испытаний можно выделить следующие этапы: инициация, планирование, исполнение, мониторинг и управление, завершение.

Весь процесс испытаний представлен в виде бизнес-модели на рис. 1, где описание процесса строится с помощью семантических элементов предметной области.

Результатом этапа “Планирование” выступают разработанные программа и технология испытаний, а также график проведения испытаний. Программа испытаний включает в себя цель и задачи испытаний; описание объекта испытаний; порядок проведения и материального обеспечения; объем, последовательность и методики испытаний; процесс обработки полученных результатов; форму и порядок отчетности. Технология испытаний разрабатывается на основании программы и является последовательным комплексом организационных мер, операций и приемов, направленных на выполнение процесса испытаний.

Необходимым условием для начала этапа “Проведение испытаний” является изготовление объекта испытаний (образца).

Само проведение испытаний связано с реализацией программы испытаний в строгом соответствии с технологией испытаний и графиком проведения работ. Этап “Мониторинг и управление испытаниями” неотрывно связан с этапом “Проведение испытаний” и предполагает сбор и отслеживание результатов испытаний и при необходимости внесение управляющих воздействий.

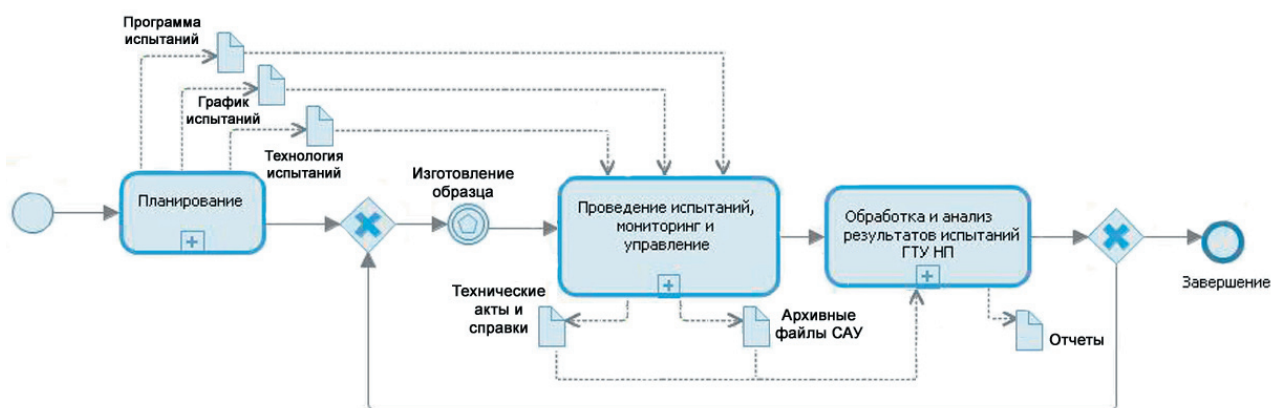


Рис. 1. Бизнес-модель процесса испытаний

Завершающий этап – это "Обработка и анализ результатов испытаний", который служит для преобразования и систематизации полученных во время испытаний данных, проведения оценки технического состояния установки, анализа затрат и анализа рисков, оформляется соответствующая отчетная документация.

Применительно к исследовательским испытаниям полученная модель испытаний может быть уточнена и расширена.

Так, например, этапу "Планирование" исследовательских испытаниях необходимо уделить особое внимание, поскольку процесс исследовательских испытаний ГТУ НП является сложным комплексным процессом, объединяющим большое число разнородных испытаний, а оптимизация данного процесса и эффективное управление им в первую очередь зависит от рационального планирования всех работ и оптимального распределения ресурсов.

Модель данного этапа представлена на рис. 2.

Как видно из модели, после инициации этапа "Планирование" необходимо четко сформулировать общие цели и задачи исследовательских испытаний.

Далее локализуют предметную область проведения работ и выделяют объекты для испытаний. Это могут быть как отдельные системы и агрегаты, так и ГТУ в целом.

На данном этапе эффективными методами являются экспертное оценивание, составление ассоциативных карт, анализ документации на изделие, анализ документации на дефект, использование опыта проведения исследовательских испытаний предыдущих лет и т.д. Следует отметить, что выделение объектов для исследовательских испытаний проводится с учетом имеющихся временных и материальных ресурсов.

После этого выполняется декомпозиция работ, на основании которой формируют программу испытаний. Эффективным инструментом для декомпозиции работ являются иерархические структуры, например, Work Breakdown Structures (WBS), которые осуществляют иерархическое деление процесса на естественные элементы (операции) с целью обеспечения его контроля и управления.

При необходимости общая программа испытаний может быть рационально разбита на частные программы, организуя тем самым несколько уровней исследовательских испытаний. Для этого определяют цели и объем частных испытаний, методы проведения работ и оценки результатов, порядок проведения и материального обеспечения работ, устанавливают критерии их законченности и готовности объекта для перехода к следующим уровням испытаний, форму и порядок отчетности.

На основании каждой из программ испытаний разрабатывают технологию проведения работ, планируют материальное обеспечение, определяют возможные риски исследовательских испытаний, которые можно определить как риски прямых или косвенных убытков в результате неверного исполнения процесса, неэффективности процедур внутреннего контроля, технологических сбоев, несанкционированных действий персонала или внешнего воздействия. Проводят экспертное ранжирование для выявления наиболее критичных рисков с целью принятия мер по их минимизации [6].

Далее разрабатывают график проведения исследовательских работ, планируют нематериальные ресурсы.

После формирования всех выделенных уровней исследовательских испытаний этап "Планирование" завершается.

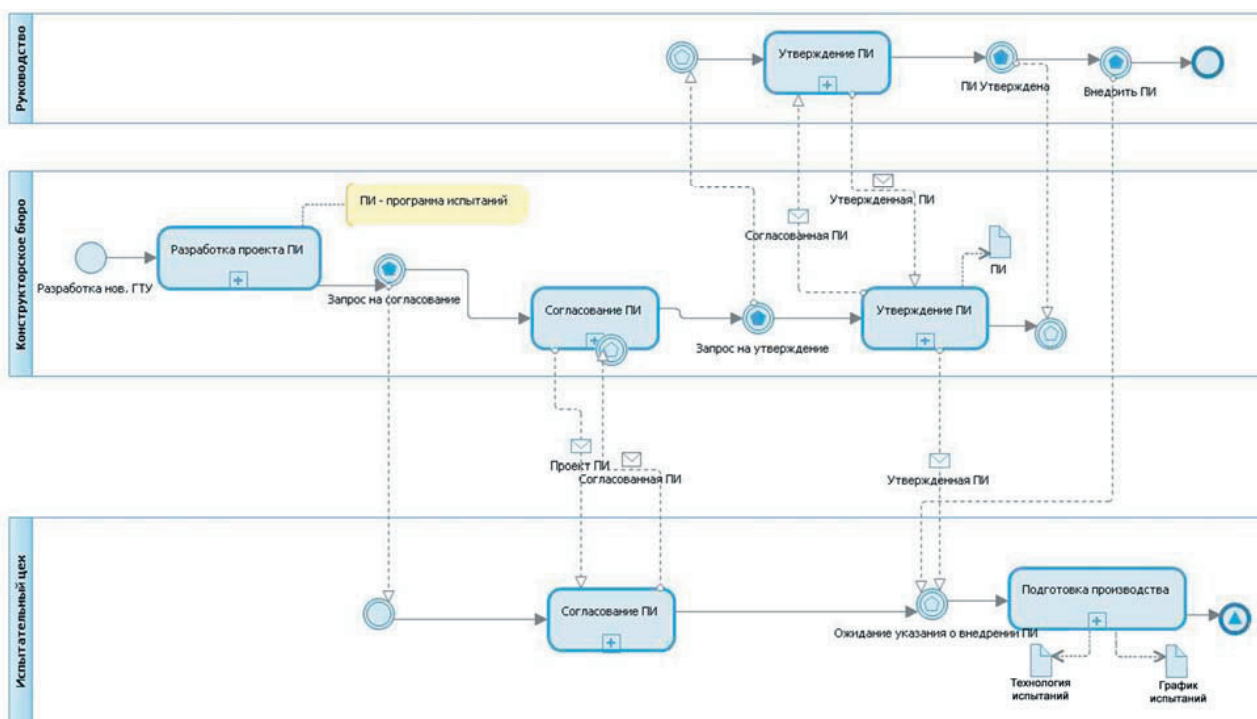


Рис. 2. Бизнес-модель этапа "Планирование" исследовательских испытаний

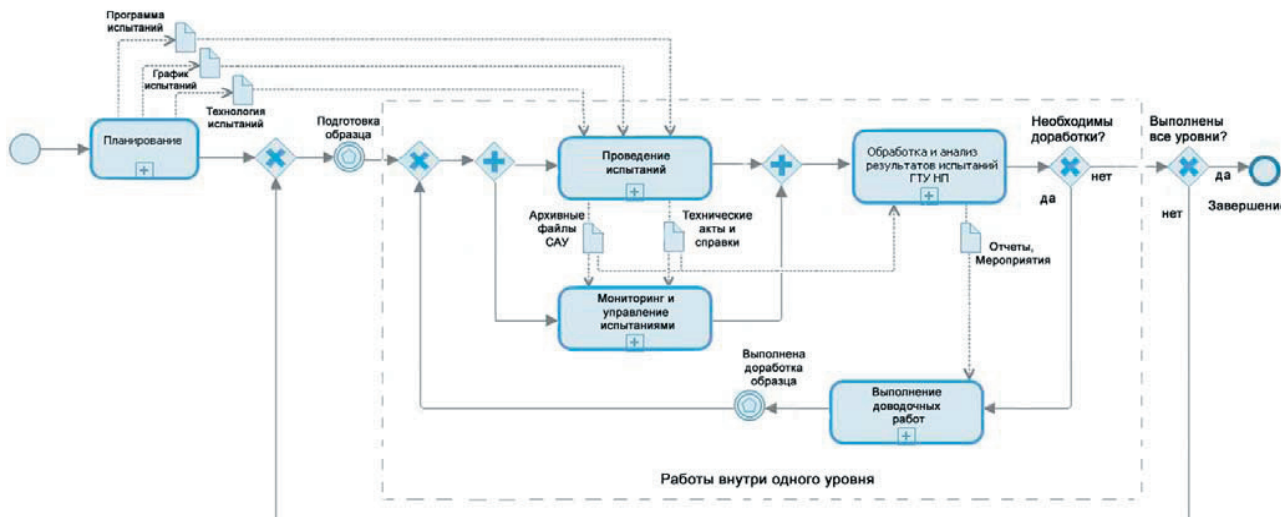


Рис. 3. Бизнес-модель процесса исследовательских испытаний

Кроме изменений в ходе планирования исследовательских испытаний сам процесс также расширен, что видно из рис. 3.

В результате реинжиниринга процесса исследовательских испытаний в модель испытаний внесены внутренний и внешний циклы, что позволит рационализировать процесс за счет разделения информационных потоков.

Внешний цикл реализует разделение исследовательских испытаний на логические уровни. Внутренний цикл создает ветвление внутри одного уровня для повторения этапов "Проведение испытаний" и "Обработка и анализ результатов испытаний" в зависимости от требуемых доработок.

Как видно из диаграмм, в ходе комплексных исследовательских испытаний проводится большое количество различных видов работ, по результатам которых скапливается большое количество отчетной документации (технических актов, отчетов, мероприятий по доработкам). Основным методом управления, используемый в настоящее время, - документационный, поэтому в обеспечении качественного управления большую роль играет, в том числе, и формализация системы документооборота процесса исследовательских испытаний.

В результате проведения реинжиниринга были выделены основные потоки документооборота, что в дальнейшем может быть использовано для автоматизации системы документооборота исследовательских испытаний ГТУ НП.

#### 4. Опыт проведения исследовательских испытаний

Рассмотрим применение разработанного подхода на примере комплексных исследовательских испытаний одной из новых разработок АО «МОТОР СИЧ» - газоперекачивающего агрегата (ГПА), предназначенного для транспортирования природного газа по магистральным газопроводам и для установки на дожимных компрессорных станциях и станциях подземных хранилищ газа.

Основная цель данных исследовательских испытаний подтверждение заложенных параметров и работо-

способности ГПА. Для этого были выделены следующие задачи: определить фактические величины характеристик ГПА и его систем, подтвердить их работоспособность.

В качестве объектов испытаний на основе анализа документации на изделие и экспертного оценивания были выделены все функциональные системы агрегата в отдельности и комплексная их совместная отработка в составе агрегата.

После этого была выполнена декомпозиция работ, иерархическая структура которых представлена в виде схемы WBS на рис. 4.

После проработки исходных материалов процесс исследовательских испытаний был разбит на два подпроцесса.

Первый подпроцесс – проведение исследовательских испытаний на испытательном стенде завода без подвода магистрального газа высокого давления к агрегату.

Второй подпроцесс – проведение исследовательских испытаний на месте эксплуатации ГПА в составе компрессорной станции.

Такая декомпозиция позволила уменьшить время на доработку за счет исключения времени на перевозку образца с места эксплуатации на завод и обратно. При этом же исключаются затраты на перевозку для доработки образца.

На основании декомпозиции работ были сформированы две программы исследовательских испытаний ГПА.

В первой программе испытаний был выделен следующий круг решаемых задач: проверка корректного функционирования всех систем и совместная отработка узлов и систем на режимах подготовки к запуску, холодной прокрутки, запуска и работе агрегата без нагрузки. По причине достаточно большого объема необходимых работ задача проверки корректного функционирования всех систем была разбита на свои подзадачи. Принцип разбиения был осуществлен по системам.

По результатам каждой из выделенных задач проводилась отработка алгоритмов функционирования, выполнялись необходимые доработки объекта испытаний, корректировалась техническая документация [7-8].



Рис. 4. Схема WBS исследовательских испытаний ГПА

Оптимизация совместной отработки узлов и систем на вышеуказанных режимах проводилась завершающей после доводки всех функциональных систем и узлов.

Для возможности отработки алгоритмов системы автоматического управления ГПА при реализации первой программы испытаний разработчиками системы автоматического управления был спроектирован и изготовлен шкаф-имитатор, позволяющий осуществить запуск и работу агрегата без нагрузки, т.е. без подвода магистрального газа высокого давления.

Во второй программе испытаний ГПА аналогичным образом были выделены проверка функциональных систем, работающих с газом высокого давления, и комплексная отработка ГПА под нагрузкой в условиях эксплуатации. По результатам каждой из выделенных задач предусмотрена отработка алгоритмов функционирования, выполнение необходимых доработок объекта испытаний, корректировка технической документации.

В ходе испытаний были выделен и принят ряд рисков возможных при проведении исследовательских испытаний, среди которых несоблюдение конструкторской и технологической дисциплины при проектировании и изготовлении; недочеты технического контроля; несовершенство входного контроля покупных изделий; отказы деталей, оборудования, программных средств; невыполнение функциональных свойств какой-то из систем и т.д.

Согласно разработанным моделям рисков, ГТУ НП [9] были сформированы контрмеры, позволяющие минимизировать или исключить вышеперечисленные риски. Проведены организационные мероприятия, направленные на усиление контроля на всех этапах проектирования и изготовления; усовершенствован входной контроль покупных агрегатов. Также по результатам исследовательских испытаний ГПА был выпущен до-

кумент – «Программа испытаний функциональных систем в цехе изготовителе». Данная программа направлена на снижение случаев отказов при испытаниях за счет раннего выявления некачественного изготовления и сборки, дополнительного контроля комплектующих изделий в сборочном цехе.

## Выводы

В ходе проведенной работы был выполнен реинжиниринг процесса исследовательских испытаний, который позволил адаптировать процесс исследовательских испытаний под постоянно изменяющиеся условия.

Были построены бизнес-модели процесса испытаний ГТУ НП в целом и для исследовательских испытаний в частности.

Бизнес-модель процесса испытаний ГТУ НП позволили:

- обозначить основные этапы процесса;
- выделить основные задачи;
- планировать порядок работ, сроки их выполнения и необходимые ресурсы.

Использование потоков работ как функциональной основы процесса исследовательских испытаний позволило описать схемы движения документов, что позволит в дальнейшем автоматизировать документооборот процесса исследовательских испытаний.

Рассмотрено применение предложенного подхода для комплексных исследовательских испытаний газоперекачивающего агрегата, что позволило уменьшить время и затраты на доработку за счет исключения времени и затрат на перевозку образца с места эксплуатации на завод и обратно.

## Литература

1. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. – СПб.: Политехника, 2000. – 248с.
2. Испытания и обеспечение надежности авиационных двигателей и энергетических установок: Учебник для вузов / [Е.Ю. Марчуков, И.И. Онищик, В.Б. Рутовский и др.]; под ред. И.И. Онищика. – Издание второе, исправленное и дополненное. – М.: Изд-во МАИ, 2004. – 336 с.
3. Милошевич Д. Набор инструментов для управления проектами / Драган З. Милошевич; пер. с англ. Мамонтова Е.В.; под ред. С.И. Неизвестного. - М.: Компания АйТи; ДМК Пресс, 2008. - 729 с.
4. Тельнов Ю.Ф. Реинжиниринг бизнес-процессов. Компонентная методология. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 320 с.

5. Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. System engineering – System life cycle processes: ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005. – [Дата введения 01.01.2007]. – М.: Стандартинформ, 2006. – 53 с. – (Национальный стандарт Российской Федерации).
6. Шитикова Е.В. Анализ рисков газотурбинных установок наземного применения [Текст] / Е.В. Шитикова, Г.В. Табунщик // Вісник двигунобудування. – 2012. - №1. – С. 54-59.
7. Курбатов С.В. Исследование теплосостояния систем газоперекачивающего агрегата ГПА-К/5,5-ГТП/6,3 СК [Текст] / С.В. Курбатов, // Тезисы докладов. III ММНТ конференция авиамоторостроительной отрасли, Алушта, 18-22 мая 2009г. «Молодежь в авиации: новые решения и передовые технологии». – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2009. – С. 103-104.
8. Шитикова Е.В. Исследование различных конструкций трансмиссионных валов на рабочих режимах газоперекачивающего агрегата ГПА-К/5,5-ГТП/6,3 СК [Текст] / Е.В. Шитикова, С.В. Курбатов // Тезисы докладов. III ММНТ конференция авиамоторостроительной отрасли, Алушта, 18-22 мая 2009г. «Молодежь в авиации: новые решения и передовые технологии». – Запорожье: ОАО «Мотор Сич», 2009. – С. 83-84.
9. Шитикова Е.В. Анализ рисков газотурбинных установок наземного применения [Текст] / Е.В. Шитикова, Г.В. Табунщик // Вісник двигунобудування. – 2012. - №1. – С. 54-59.

*VOITH є найбільшим виробником гідродинамічних регульованих приводів. Гідромуфти та планетарні передачі добре відомі в країнах СНД. Ефективність регульованих приводів багаторазово підтверджено їх використанням в приводах різноманітних машин самої різної потужності*

*Ключові слова: гідромуфти, приводи, енергозбереження, магістральні газопроводи*

*VOITH является крупнейшим производителем гидродинамических регулируемых приводов. Гидромуфты и планетарные передачи хорошо известны в странах СНГ. Эффективность регулируемых приводов многократно подтверждена их применением в приводах различных машин самой разнообразной мощности*

*Ключевые слова: гидромуфты, приводы, энергосбережение, магистральные газопроводы*

*VOITH is the largest producer of hydrodynamic adjustable drives. Hydrocouplings and planetary transfers are well-known in CIS countries. Efficiency of adjustable drives is repeatedly confirmed with their application in drives of various cars of the most various capacity*

*Key words: hydrocouplings, drives, energy saving, main gas pipelines*

УДК 62.1

## К ВОПРОСУ О СРАВНИТЕЛЬНОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНОТРОННОГО И ЧАСТОТНО- РЕГУЛИРУЕМОГО ПРИВОДОВ

В.Б. Иванов

Кандидат технических наук, доцент,  
директор представительства  
Представительство Фойт Турбо  
ул. В.Хвойки, 21, г. Киев, Украина, 04655  
Контактный тел.: (044) 581-47-60, 067-440-45-04  
E-mail: vadim.ivanov@voith.com

М. Рихтер

Региональный менеджер проектов Voith в странах СНГ  
Voith Turbo GmbH & Co. KG Start-up Components  
Voithstr.1, Crailsheim, GERMANY, 74564  
Контактный тел.: 049-(0)7951-32-409  
E-mail: startup.components@voith.com

В.И. Ситас

Кандидат технических наук, доцент,  
директор представительства  
Представительство Voith в России  
ул. Николаямская, 21/7, г. Москва, Россия, 109240  
Контактный тел.: 07 (495) 915-32-69  
E-mail: Victor.Sitas@voith.com

Регулирование производительности насосов, компрессоров, вентиляторов и других машин является

одним из главных направлений повышения энергоэффективности производства. За счет регулирования