



ОПИСАНИЕ ПРОЕКТА

Университет Лавборо (Loughborough University)

Вулфсоновский колледж механики и машиностроения

Исследования шумов и вибраций силового привода автомобилей

Великобритания

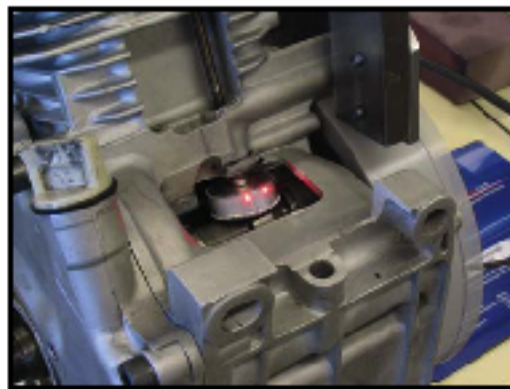
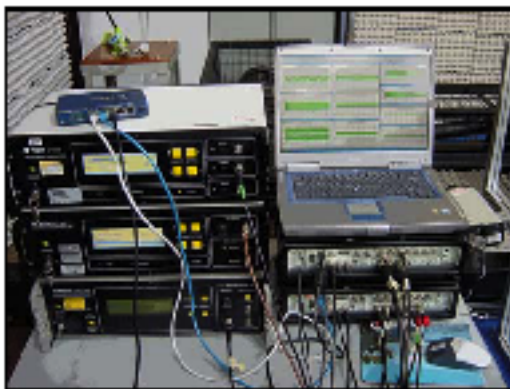
Автомобильная промышленность

PULSE™, преобразователи

Расположенный в графстве Лестершир в центральной Англии Университет Лавборо получил этот статус в 1966. Сегодня в нем 3000 преподавателей, 12000 студентов, а университетский городок занимает 410 акров (166 гектаров).

Вулфсоновский колледж механики и машиностроения была основана в августе 1997 года и является одним из крупнейших технических факультетов Великобритании. Система сбора и анализа данных PULSE активно используется при проведении исследований силового привода автомобилей.

©2004 Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S. All rights reserved



Научно-исследовательский университет

Лавборо получил статус университета почти сорок лет назад. За прошедшее с этого момента время он приобрел всемирную репутацию учебного заведения с великолепным уровнем обучения, исследовательской работы и внедрения технологий. Сегодня в составе университета 24 отделения и более 30 исследовательских институтов и центров, объединенных в три факультета: социальных и гуманитарных дисциплин, научный и технический.

Университет ведет активную научно-исследовательскую работу, и все отделения обладают отличной научной базой. Тесные связи с промышленностью были и остаются ключевым элементом работы университета, именно они позволяют поддерживать

множество аспирантских стипендий и получать финансирование научных исследований.

Вулфсоновский колледж механики и машиностроения

Wolfson School

Вулфсоновский колледж механики и машиностроения был создан в августе 1997 года на пожертвования Фонда Вулфсона и объединил в себе два уже давно существовавших отделения: инженерной механики и машиностроения. Научно-педагогический состав насчитывает более 100 человек, обучение проходят 140 аспирантов, 200 соискателей степени магистра и 850 обычных студентов, что составляет около трети всего технического факультета Университета Лавборо; на данный момент колледж является одним из крупнейших технических ВУЗов Великобритании, изучающих данный круг проблем.

Рис. 1 3000 преподавателей и 12000 студентов Университета Лавборо работают в прекрасном университетском городке площадью 410 акров (166 гектаров). Для постройки новых зданий объединенного технического факультета была принята инвестиционная программа стоимостью 18 миллионов фунтов. Здания были сданы в 2000 году

Руководят тринадцатью исследовательскими группами колледжа старшие преподаватели, каждый из которых является мировым лидером в своей области. Группы занимаются ключевыми областями инженерной механики, например, динамикой, термопластикой, горением и машиностроения: технологией производства, ускоренным производством и т.п.



Междисциплинарные группы, например, оптической инженерии и спортивных технологий сочетают изучение нескольких ключевых областей деятельности колледжа и других отделений университета.

Совершенство в научной области

Стив Ротберг (Steve Rothberg) был назначен главой Вулфсоновского колледжа механики и машиностроения в 2001 году, а в 2004 году стал профессором вибрационной инженерии. Работать в Университете он начинал в 1990 году с чтения лекций по акустике и вибрациям в рамках программы ЕС Eureka, финансировавшейся Brüel & Kjær, и занимался исследованиями применения лазерных технологий в области вибрационных измерений.

Сегодня главной областью его интересов по-прежнему остаются лазерные технологии, и он продолжает сотрудничать с Brüel & Kjær по вопросам продукции, связанной с лазерами. Эти работы были удостоены национальных премий, последняя из которых относилась к лазерной виброметрии с синхронным сканированием: технологии, позволяющей в рабочих условиях отслеживать вращающиеся компоненты, например, лопатки турбины, одновременно осуществляя их сканирование.

Профессор Ротберг говорит: «Преподавание и исследования занимают около трети моего времени. Я активно занимаюсь вибрационными исследованиями как в проектах по автомобильной промышленности, так и в других областях, например, в сфере спортивных технологий, где мы исследуем влияние вибраций на человеческое тело и спортивное снаряжение».

«Все остальное время уходит на управление колледжем. Я стремлюсь выстроить прочную и надежную культуру исследований, благодаря которой наши исследования в области механики и машиностроения выйдут на лидирующие позиции в Великобритании, а также установить международные отношения с мировыми лидерами».

Исследования влияния шумов и вибраций на силовой привод автомобиля проводит Гомер Рэнджет (Homer Rahnejat), занимающийся трибологическими вопросами, динамикой автомобиля, шумами, вибрациями и многокомпонентным анализом. Он работает в колледже с 2000 года, а звание профессора в области динамики получил в 2003 году.

Рис. 2 Слева направо: Д-р С. Феодоссиадес, д-р М. Теодореску, профессор Ротберг, д-р М. Гнанакумарр, д-р С. Балакришнан

В его группу входят профессор Ротберг и другие ученые-исследователи. Доктор Стефанос Феодоссиадес (Stephanos Theodossiades) получил степень кандидата наук в области динамики зубчатых передач в Аристотелевском Университете в Салониках. Он три года работает над исследованиями шумов и вибраций в Университете Лавборо: сначала в ранге научного сотрудника, а теперь – лектора. Пол Кинг (Paul King) привнес в группу свой немалый опыт в области промышленности и академической науки, в особенности в том, что касается динамики двигателей и автомобилей.



Ученым и их студентам помогают научные сотрудники. Доктор Мирча Теодореску (Mircea Teodorescu) получил степень кандидата наук в области трибодинамики клапанных механизмов в Университете Уэйн-Стейт (Wayne State), штат Мичиган. Он стал научным сотрудником Университета Лавборо в 2003 году. Доктор Макс Гнанакумарр (Max Gnanakumarr) недавно защитил в Университете Лавборо кандидатскую диссертацию в области шумовых и вибрационных испытаний, как и доктор Саши Балакришнан (Sashi Balakrishnan), научный сотрудник Perfect Bore, занимающийся современной динамикой поршней и смазкой, а также доктор Джордж Маврос (George Mavros), изучавший управление автомобилями и поведение шин в неустойчивых состояниях.

Исследования в области автомобильной промышленности

Рис. 3 Одна из лабораторий Вулфсоновского колледжа механики и машиностроения

Связь Университета Лавборо с автомобильной промышленностью тянется с технических курсов, появившихся в 1919 году. Сегодня он занимается актуальнейшими исследованиями совместно с Ford Motor Company, Jaguar Cars Ltd., Perkins Engines, Perfect Bore Motorsport, SKF и Lotus Engineering.



Профессор Ротберг говорит: «Совместно с отделением авиационной и автомобильной инженерии наш колледж интенсивно работает над исследованиями в области автомобильной промышленности, в особенности, в том, что касается привода (двигателя и трансмиссии). Мы сотрудничаем со многими мировыми автопроизводителями и поставщиками, а также другими университетами. Например, наша группа термопластики и сгорания совместно с уни-

верситетами Оксфорда, Лидса и Лондона (London University College) работает над проектом «Концепции внутреннего сгорания для надежных автомобилей высшего качества», финансирование которого в объеме 2,4 миллиона фунтов осуществляют Jaguar, Shell и Совет по исследованиям в области физических наук (EPSRC) Правительства Великобритании. Члены консорциума выбирались Jaguar, что указывает на уважение к нашим способностям со стороны представителей отрасли».

Исследовательские гранты и финансирование со стороны промышленности позволяют сохранять большое число младших научных сотрудников и ассистентов. Профессор Ротберг добавляет: «Мы активно предлагаем свои услуги промышленности. Внешнее финансирование наших исследований сейчас превышает 5 миллионов фунтов в год и по-прежнему возрастает. Эти доходы позволяют содержать большое число ученых и приобретать специализированное оборудование для лабораторий, что позволяет также улучшить обучение обычных студентов. Мы поддерживаем и кратковременное сотрудничество, и длительные отношения. Часто короткое сотрудничество с компанией выливается в исследовательский проект, финансируемый Исследовательским Советом Великобритании или ЕС».

«Как и большинство исследовательских Университетов, мы организуем и активно участвуем в конференциях под эгидой таких организаций как SAE, ASME и IMechE. Результаты наших исследований, в том числе, методология, публикуются, но мы также работаем и над закрытыми коммерческими проектами. Хороший пример – наш исследовательский проект совместно с Perfect Bore, производителем поршней и прокладок для многих команд Формулы-1».

Длительные отношения

Профессор Ротберг рассказывает: «Впервые о Brüel & Kjær я узнал в 1980-х годах. Сегодня мы пользуемся многими их продуктами. Большая часть наших микрофонов, динамометрических преобразователей, измерителей силы звука и акселерометров – производства Brüel & Kjær. Для нас важно иметь надежное, высококачественное оборудование, так как наша философия предполагает, что студенты получают в лаборатории как можно больше реального практического опыта».

Доктор Феодоссиадес добавляет: «Прекрасная репутация этой компании не ограничивается рамками нашего университета, а является всемирной. У них первоклассные решения, которые очень помогают нам в наших исследованиях».

PULSE

Первая система PULSE появилась в Вулфсоновском колледже механики и машиностроения в апреле 2003 года.

Доктор Феодоссиадес объясняет: «Решение выбрать в качестве платформы для сбора шумовых и вибрационных данных PULSE мы принимали совместно. Мы выбрали 3560C. Хотя сейчас у нас четырехканальная система, главной причиной приобретения PULSE была ее модульность и масштабируемость. Поэтому легко можем в будущем расширить систему и добавить больше каналов».



Рис. 4 Для измерения шумовых и вибрационных характеристик силового привода используются два интерфейса PULSE, обеспечивающих необходимое число каналов для динамических измерений и измерений постоянного тока

Из программного обеспечения используются PULSE FFT&CPB Analysis Type 7700 и Time Capture Type 7705.

Система PULSE работает под управлением Windows® XP. Результаты испытаний сохраняются на жесткий диск компьютера. Затем они архивируются на CD-ROM. Данные изучаются в режиме реального времени и активно обрабатываются позднее с помощью PULSE и другого программного обеспечения.

Проекты и методологии

Трибодинамика клапанных механизмов

Научный сотрудник SKF доктор Мирча Теодореску совместно с профессором Рэнджетом работают над проектом оценки трения кулачка о толкатель в двигателе. Сильно трение ведет к потере мощности и повышению износа.

Доктор Теодореску объясняет: «Что проанализировать трение мы взяли одноцилиндровый двигатель и запустили его так, что кулачок и толкатель видны. Двигатель работает от электромотора с возможностью изменения скорости в широких пределах. Мы знаем, что при работе клапанного механизма толкатель не только ходит вверх и вниз, но еще и вращается; а это – один из важнейших параметров, который мы должны оценить».

Для того, чтобы измерить движение толкателя необходим лазерный виброметр с параллельными лучами. Лазер подключается к интерфейсу PULSE, используемому для сбора и анализа данных. Экспериментальные данные необходимы для подтверждения математической модели.

Шумы и вибрации силового привода

Профессор Рэнджет, доктор Феодоссиадес и доктор Гнанакумарр совместно с доктором Майком Мендеем (Mike Munday) и доктором Патриком Келли (Patrick Kelly) из Ford Motor Company работали над крупным проектом по выяснению причин шумов удара в силовом приводе легкого грузовика.

Рис. 5 Слева: Одноцилиндровый двигатель запускался так, что были видны движущиеся части клапанного механизма

Справа: Лазерный виброметр с параллельными лучами сфокусирован на кулачке и измеряет его движение. Лазер подключен к PULSE



Вычисляется корреляция между результатами экспериментов и виртуальным прототипом, разработанным в рамках проекта, финансируемого Ford Motor Company, MCS Software и Foresight Vehicle Initiative.

Рис. 6 Площадка, подготовленная для проведения эксперимента по оценке «ударов» («clonk») в силовом приводе автомобиля – вид сверху

Основанная Министерством Торговли и Промышленности Правительства Великобритании и EPSRC организация Foresight Vehicle Initiative (Автомобиль будущего) находится под управлением Общества автопроизводителей и торговцев автомобилями (The Society of Motor Manufacturers and Traders Limited) и представляет собой главную сеть передачи данных в автомобильной индустрии Великобритании.



Доктор Гранакумарр поясняет: «При быстром включении и выключении сцепления часто слышен металлический звук. Он известен под названием «clonk» («удар»). Особенно часто он проявляется на автомобилях с задним приводом. Стержни трансмиссии представляют собой полые стальные трубы, которые усиливают металлический звук словно репродукторы».

Он продолжает: «Мы хотим найти экономически приемлемое решение, которое позволило бы свести к минимуму шум «удара» в силовом приводе, не повышая при этом его веса. Мы ставили эксперименты в различной конфигурации на силовом приводе легкого грузовика. Вращение электромотора вызывает распространение по силовому приводу ударных волн, а они вызывают вибрацию компонентов с низкой инерционностью. Нас интересует частотный диапазон 1,5 – 5 кГц, так как именно в нем распространяется механический шум».

Рис. 7 Для измерения шумов силового привода автомобиля применялись поляризованные конденсаторные микрофоны в футлярах 4155

Доктор Феодоссиадес добавляет: «При проведении этого исследования нам пришлось учитывать множество факторов, которые действуют в реальных рабочих условиях: смазку, люфты, характеристики маховика, обороты двигателя, нагрузку, скорость сцепления».



«В результате наших исследований нам удалось выявить корреляцию между шумами, вибрациями и частотами, на которых проявляется «удар». Также мы установили корреляцию между частотами сигнала в отдельных компонентах привода: карданном вале, подшипниках и шестернях трансмиссии/дифференциала, - с помощью экспериментов с ударным молотком», - говорит доктор Феодоссиадес.

Рис. 8 К главному цилиндру сцепления подсоединяются два пьезоэлектрических зарядовых акселерометра 4393, измеряющих характеристики работы сцепления

Доктор Гранакумарр продолжает «Мы собираем данные с помощью трех микрофонов, двух акселерометров, трех лазерных каналов и двух каналов, измеряющих скорость сцепления – водитель с агрессивным стилем вождения и более спокойный пользуются педалью совершенно по-разному. Данные измерений обрабатываются с помощью анализа БПФ, вейвлет-анализа окна данных и метода авторегрессионного скользящего среднего (ARMA).



«Численные исследования, проведенные на основании результатов экспериментов, состояли из многокомпонентной динамики, моделирования по методу конечных элементов и исследований методом граничных элементов».

Успешная работа над «ударом» совместно с Ford Motor Company привела к заключению контракта с Jaguar Cars Ltd., в работах по которому участвует доктор Джордж Маврос. Он будет пользоваться системой PULSE, а также лазерными виброметрами и микрофонами Brüel & Kjær.

Рис. 9 Испытательный стенд для исследования динамики и смазки поршней, разработанных для двигателей болидов Формулы-1

Динамика поршней и смазка

Perfect Bore – это английская компания, специализирующаяся в области глубокого сверления и бурения, хонингования и сверхтонкой обработки. Она разрабатывает и производит поршни и прокладки для компаний-производителей двигателей для автоспорта, в том числе для гоночных команд Формулы-1. Доктор Саши Балакришнан, профессор Рэнджет и Пол Кинг вместе с Себастьяном Хауэлл-Смитом (Sebastian Howell-Smith) из Perfect Bore работают над исследованием динамики поршней и смазки.

Доктор Балакришнан говорит: «Мы проводим исследования на специальном динамометрическом стенде. Как вы понимаете, конкуренция в Формуле-1 очень жесткая, поэтому методология тестирования и результаты проекта останутся неопубликованными».



Уверенность

Доктор Макс Гнакумарр заявляет: «PULSE очень просто и быстро настраивается. Для нашего проекта по шумам и вибрациям силового привода нам требовалось больше каналов, чем поддерживает наша система PULSE, поэтому мы очень благодарны Brüel & Kjær за дополнительный интерфейс, который нам был предоставлен. Мы не принимаем это как должное, но, честно говоря, мы уже привыкли к великолепной поддержке, помощи и обслуживанию, которые предоставляет отделение Brüel & Kjær в Стивенедже (Stevenage). Мы уверены в тех решениях Brüel & Kjær, которыми пользуемся, потому что знаем, что они – результат тщательных и современных исследований. Мы планируем купить еще один комплект PULSE, чтобы увеличить число каналов анализа».

В заключение профессор Ротберг говорит: «Клиенты ожидают все более совершенных автомобилей. Двигатели уже стали настолько бесшумными, что производители концентрируются на других источниках шумов и вибраций, в том числе на силовом приводе. Водители склонны связывать механический шум с механической поломкой – вещь крайне нежелательной, поэтому мы предвидим большой спрос на исследования в этой области».

Ключевые моменты

Лавборо получил статус университета в 1966 году

Вулфсоновский колледж механики и машиностроения был создан в августе 1997 года и является одним из крупнейших технических ВУЗов Великобритании

Связь Университета Лавборо с автомобильной промышленностью тянется с технических курсов, появившихся в 1919 году

Сегодня он занимается актуальнейшими исследованиями совместно с крупнейшими автомобильными компаниями

«Большая часть наших преобразователей и усилителей силы звук – производства Brüel & Kjær»

Первая система PULSE появилась в апреле 2003 года

«Прекрасная репутация этой компании не ограничивается рамками нашего университета, а является всемирной. Их продукция работает точно, она просто первоклассна и является эталоном»

«Мы уже привыкли к великолепной поддержке, помощи и обслуживанию, которые предоставляет английское отделение Brüel & Kjær в Стивенедже (Stevenage)»