

## ОПИСАНИЕ ПРОЕКТА

### Кungliga Tekniska Högskolan – Королевский Технологический Институт Лаборатория Маркуса Валленберга – Исследования шумов и вибраций

Швеция  
Автомобильная, аэрокосмическая промышленность  
PULSE™, преобразователи

*Kungliga Tekniska Högskolan (КТН) был основан королевским указом в 1827 году. В Университете обучается более 11000 студентов, 1500 аспирантов; персонал насчитывает более 3000 человек. С 1917 года КТН располагается в центре столицы Швеции – Стокгольма, в комплексе чудесных зданий, имеющих сегодня статус исторического памятника. Являясь учебным заведением высочайшего уровня, КТН кроме этого ведет актуальнейшие исследования в широком спектре дисциплин: от естественных наук до различных технологических отраслей.*

*Относящаяся к КТН Лаборатория Маркуса Валленберга (Marcus Wallenberg Laboratory), проводящая исследования в области акустики и вибраций, располагает широким набором продуктов Brüel & Kjær: речь идет о преобразователях, уровнемерах и системе PULSE.*



## Факультет авиационной и автомобильной инженерии

В КТН есть факультет авиационной и автомобильной инженерии. Он состоит из девяти отделений:

- о Лаборатория акустических и вибрационных исследований Маркуса Валленберга (MWL)

- o Аэродинамики
- o Динамики полета
- o Легких конструкций
- o Корабельных систем
- o Нейронной инженерии
- o Технологий для железных дорог
- o Подводных технологий
- o Динамики автомобилей

Кроме этого в Университете есть два центра: один занимается железнодорожными технологиями, а второй – автомобилями.

---

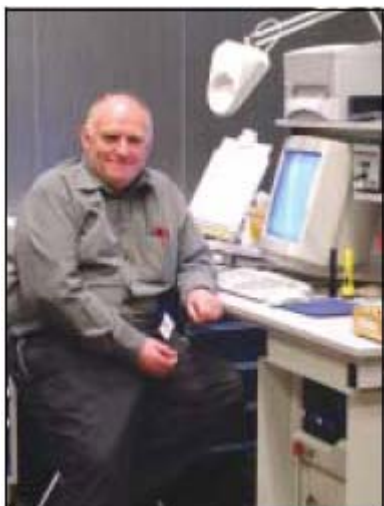
## Лаборатория Маркуса Валленберга

---



MWL была основана в 1977 году и является крупнейшим в северной Европе центром технической акустики. Она занимается экспериментальными исследованиями в области акустики, вибраций, структурной динамики; лаборатория особенно приспособлена для работ, касающихся автомобилей, механизмов и отдельных процессов. Главные направления исследований – это динамика транспортных средств, безопасность, комфорт, минимизация шумов и влияния на окружающую среду.

**Рис.1 Ханс Петер Валлин – старший преподаватель, отвечающий за обучение студентов в MWL**



Ханс Петер Валлин (Hans Peter Wallin), известный под псевдонимом НР работает в КТН с 1977 года; сейчас он старший преподаватель и отвечает за обучение студентов. Он объясняет: «Сегодня в MWL тридцать человек, у нас 17 аспирантов».

НР продолжает: «Ежегодно около 550 студентов обучаются у нас основам акустических и вибрационных исследований. Моя главная задача – отвечать за студентов до получения ими диплома. Учебная работа занимает около 75% моего времени. Остальное я делю между исследованиями и рядом других проектов. В 2002 году наш оборот составил порядка 2,8 миллиона евро».

MWL сотрудничает со многими ведущими представителями автомобильной, авиационной промышленности и производственными компаниями:

- |               |                         |
|---------------|-------------------------|
| o Atlas Copco | o SAAB                  |
| o Airbus      | o Scania                |
| o Bombardier  | o Electrolux            |
| o Ericsson    | o Ford                  |
| o Nokia       | o Renault               |
| o Volvo       | o и многими другими ... |

За шесть лет, прошедших после 1996 года, MWL приняла участие в пятнадцати научно-исследовательских проектах ЕС.

---

## Обширные возможности

---

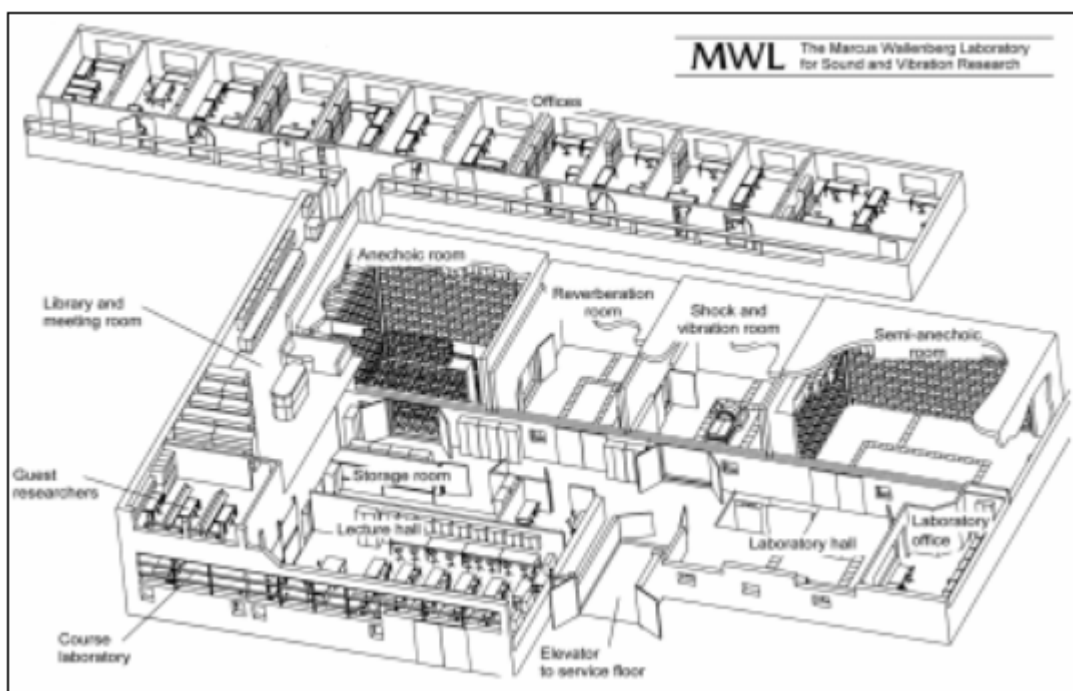
В начале и середине 1990-х годов одной из задач НР было создание и введение в действие в MWL сверхсовременных средств проведения испытаний.

Центральная часть лаборатории состоит из четырех расположенных в ряд измерительных помещений:

- o безэховая камера с критической частотой 80 Гц
- o реверберационная комната объемом 246 м<sup>3</sup>
- o комната ударов и вибраций объемом 297 м<sup>3</sup>
- o полубезэховая камера с критической частотой 80 Гц

Все помещения для измерений изолированы от прочих частей здания по принципу «коробка в коробке», за счет чего достигается крайне низкий уровень фоновых шумов. Комнаты рассчитаны на то, чтобы вмещать крупные объекты: например, легковые автомобили. Они оснащены горячей и холодной водой, сжатым воздухом, гидравликой, выводом выхлопных газов и системой охлаждения. Дверные проемы между измерительными помещениями имеют размеры 2,4 x 2,2 м; они снабжены специальными рамами для быстрого монтажа различных образцов при изучении возникновения и передачи звука в свободном и реверберационном поле. Для перемещения и подвешивания тестируемых образцов весом до 5000 кг предусмотрены краны и прочее оборудование. Зал лаборатории на первом этаже предназначен для более крупных объектов тестирования: небольших самолетов и железнодорожных вагонов.

**Рис. 2** План помещений лаборатории MWL. Четыре измерительные комнаты расположены в ряд и соединены большими дверями

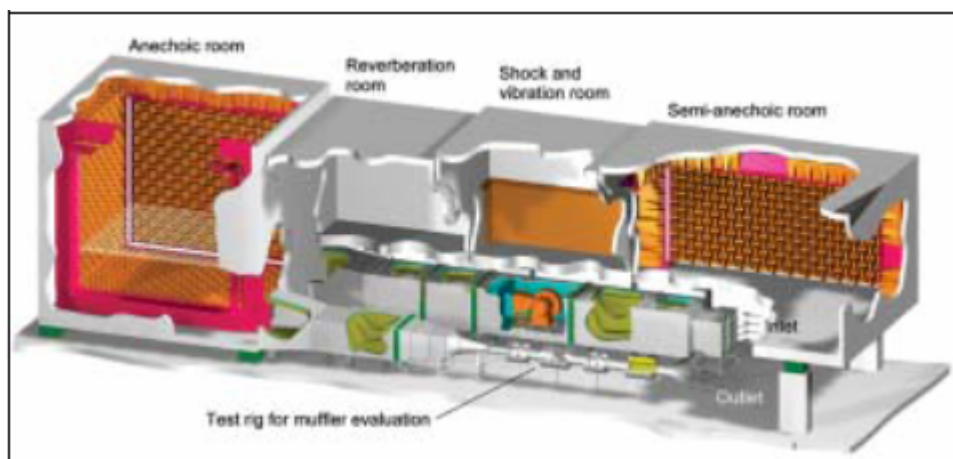


**Рис. 3** Измерение силы звука с помощью ручного пневматического приспособления в полубезэховой камере



Уникальная планировка испытательных помещений, большой библиотечный зал и расположенный внизу технический этаж позволяют проводить любые измерения. Речь идет как о стандартных измерениях силы и интенсивности звука, звукоизоляции и передачи звука, так и о более сложных: испытаниях на вибрации, анализе мод, описании шумопоглотителей при помощи оборудования для проведения испытаний акустического расхода и т.п.

**Рис. 4** Оборудование для проведения испытаний акустического расхода, находящееся на техническом этаже. Безэховая камера является большим глушителем и отстойником. Поток воздуха в оснастке очень слаб и не превышает  $10 \text{ м}^3/\text{с}$ , а давление –  $10 \text{ кПа}$ .



Оборудование для проведения испытаний соответствует широкому спектру гражданских и военных стандартов.

В MWL имеется собственная мастерская, позволяющая собственноручно производить комплектующие и оснастку для проведения испытаний и внесения изменений в проекты.

---

## Передовые исследования

---

HP рассказывает: «Нам посчастливилось собрать в MWL профессоров и лекторов, являющихся специалистами в своих областях акустики и изучения вибраций, а также соответствующих прикладных дисциплинах».

Примеры направлений, по которым работает MWL:

- o Акустика жидкостей – характеристики источников, внутренняя аэроакустика и экспериментирование в прикладных областях: шумы вентиляторов, системы впуска и выпуска, глушители и прокладки.
- o Виброакустика – динамические свойства легких композитных структур и резин, распространение волн в системах, гашение вибраций и звукоизоляция применительно к внешним и внутренним шумам транспортных средств (легковых и грузовых автомобилей, поездов, внутренние шумы кораблей).
- o Численная акустика – исследования сложных материалов, статистический анализ энергии и т.п. методом конечных и граничных элементов применительно к внутреннему шуму транспортных средств, шуму покрышек/дороги и распространению шума во внешней среде.
- o Ультразвуковая акустика – разработка технологии неразрушающего тестирования, и исследования структурных свойств компонентов и сложных материалов. Практическое определение постоянных упругости новых материалов, обнаружение микротрещин и расслаивания композитных материалов.
- o Ударные и вибрационные испытания, в том числе, на температуру и влажность – анализ мод, калмановская фильтрация и вибрации всего тела для различных задач, например, для обнаружения механических дефектов.

---

## Авиационная промышленность

---

MWL активно участвует в авиационных исследованиях и сотрудничает со многими ведущими компаниями по всему миру. Вот два примера.



## Анализ мод конструкции воздушного судна и рулевых поверхностей

**Рис. 5** Экспериментальная структурная динамика – анализ мод конструкции планера. Обратите внимание на акселерометр, закрепленный на конце крыла, на переднем плане



Сотрудники факультета динамики полета КТН совместно с MWL недавно провели исследование феноменов аэроупругости, которые нередко представляют главную проблему при конструировании воздушных судов. Наземные вибрационные испытания с использованием возбуждения от источника вибраций проводились над планером ASK-21. Задачей испытания было выяснение модальных характеристик: резонансных частот, форм колебаний, гашения вибраций и обобщенных масс планера и рулевых поверхностей. Целью исследования было утвердить и улучшить модель воздушного судна на основе метода конечных элементов. Исследование мод проводилось в два этапа. Сначала проводилось изучение всей конструкции: крыльев, фюзеляжа и хвоста при фиксированном положении рулевых поверхностей (руля направления, высоты и т.п.). Затем изучались модальные параметры рулевых поверхностей, находившихся в свободном положении при зафиксированных крыльях, фюзеляже и хвосте. Анализ экспериментальных данных осуществлялся средствами I-DEAS Test™ и MATLAB™.

## Влияние вибрации на пилотов военных вертолетов

**Рис. 6** Маркус Турессон проводит исследование активности мышц шеи и плечевого пояса пилота военного вертолета, подвергнутого воздействию вибрации



испытательном оборудовании крайне актуальное исследование влияния вибрации на пилотов вертолетов армии Швеции. Karolinska Institutet сотрудничает с MWL в рамках этого проекта.

**Рис. 7** Эксперимент проходит в различных условиях, в том числе с использованием оборудования ночного видения. На шлем пилота помещен трехосный акселерометр



Karolinska Institutet – один из крупнейших медицинских университетов Европы. Он также является крупнейшим центром медицинской подготовки и исследований на территории Швеции; 30% обучения и 40% академических исследований в области медицины проводятся именно в этом университете. Маркус Турессон (Marcus Thuresson) с физиотерапевтического отделения нейротехнологического факультета Karolinska Institutet проводит совместно с MWL на ее испытательном оборудовании крайне актуальное исследование влияния вибрации на пилотов вертолетов армии Швеции. Karolinska Institutet сотрудничает с MWL в рамках этого проекта.

Маркус, дипломированный физиотерапевт и аспирант, поясняет: «Для эксперимента используется кресло пилота вертолета с муляжом педалей и органов управления, установленной на раме, которая возбуждается большим электромагнитным виброгенератором. Вибрация вертолета низкочастотна, виброгенератор продуцирует синусовый сигнал с качающейся частотой 2,5 – 30 Гц».

**Рис. 8** Однокоординатный акселерометр установлен на раме кресла пилота



Далее Маркус объясняет: «Мы пытаемся выяснить влияние вибрации на мышцы шеи и плечевого пояса настоящих пилотов при различном весе шлема, в некоторых случаях оборудованного аппаратурой ночного видения. Мы применяем акселерометры Brüel & Kjær: один на кресле, трехосный акселерометр на шлеме и несколько однокоординатных акселерометров на раме.

---

## Долгие отношения

---

**Рис. 9** Вибрационные исследования фрагмента железнодорожного вагона с применением PULSE



НР рассказывает: «Мы покупаем продукцию Brüel & Kjær с 1977 года, у нас много их оборудования: преобразователи, уровнемеры и т.п. Обслуживание и поддержка осуществляются на высочайшем уровне. Некоторые приборы уже старше 25 лет, хотя мы до сих пор активно ими пользуемся. Наши отношения с Brüel & Kjær можно назвать тесным партнерством».

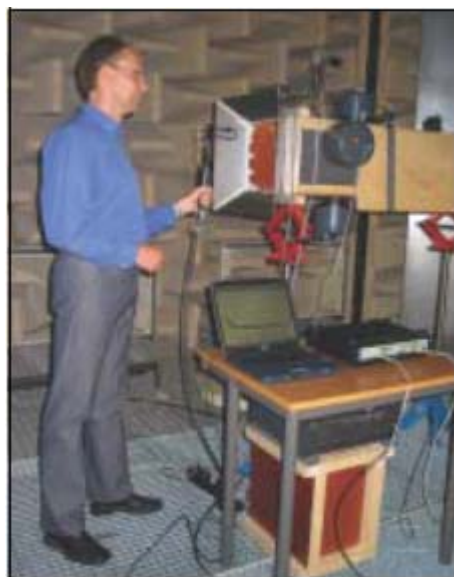
---

## PULSE

---

НР продолжает: «Когда несколько месяцев назад мы решили приобрести новый анализатор для сбора общих данных о шумах и вибрациях, то решили, учитывая большой опыт сотрудничества с Brüel & Kjær, остановиться на системе PULSE. Для нас важно, чтобы система работала в режиме реального времени на платформе Windows®, в особенности, когда речь идет о подготовке испытательного проекта. PULSE оказался очень гибким и простым в работе».

**Рис. 10** Старший научный сотрудник Пер-Олоф Берглунд проводит в безэховой камере измерения с помощью PULSE и датчика силы звука.



Пер-Олоф Берглунд (Per-Olof Berglund), один из самых опытных пользователей PULSE в MWL, рассказывает: «Для того, чтобы изучить и настроить систему PULSE для проведения измерений мне понадобилось около четырех часов; по сравнению с другими системами, с которыми я работал, это очень быстро. Настройка столь проста благодаря интуитивно понятным меню и прекрасной справке, имеющейся в PULSE. Будучи исследователем, я должен полностью контролировать ход измерения, кроме этого, мне нужен простой способ экспорта данных из системы. PULSE прекрасно соответствует этим требованиям».

---

## Ключевые моменты

---

- o Kungliga Tekniska Högskolan (КТН) был основан королевским указом в 1827 году.
- o В Университете обучается более 11000 студентов, 1500 аспирантов; персонал насчитывает более 3000 человек.
- o КТН ведет актуальнейшие исследования в широком спектре дисциплин
- o В КТН есть факультет авиационной и автомобильной инженерии
- o Изначально MWL была факультетом технической акустики, образованным в 1977 году. В связи с вводом в середине 1990-х в эксплуатацию нового лабораторного корпуса, возникло название Лаборатория акустики и вибраций Маркуса Валленберга
- o MWL является крупнейшим центром технической акустики в северной Европе
- o Она занимается экспериментальными исследованиями в области акустики, вибраций, структурной динамики; лаборатория особенно приспособлена для работ, касающихся автомобилей, механизмов и отдельных процессов.
- o MWL сотрудничает со многими ведущими представителями автомобильной, авиационной промышленности и производственными компаниями
- o За шесть лет, прошедших после 1996 года, MWL приняла участие в пятнадцати научно-исследовательских проектах ЕС
- o Главные направления исследований – это динамика транспортных средств, безопасность, комфорт, минимизация шумов и влияния на окружающую среду
- o MWL располагает современным оборудованием для проведения акустических и вибрационных испытаний
- o Оборудование для проведения испытаний соответствует широкому спектру гражданских и военных стандартов
- o В MWL имеется собственная мастерская, позволяющая собственноручно производить комплектующие и оснастку для проведения испытаний и внесения изменений в проекты
- o MWL активно участвует в исследованиях в сфере авиационной и автомобильной промышленности
- o КТН сотрудничает с Brüel & Kjær с 1970-х годов
- o В MWL много различного оборудования Brüel & Kjær
- o «Когда несколько месяцев назад мы решили приобрести новый анализатор для сбора общих данных о шумах и вибрациях, то решили, учитывая большой опыт сотрудничества с Brüel & Kjær, остановиться на системе PULSE»
- o «Наши отношения с Brüel & Kjær можно назвать тесным партнерством»