

# SimulationX – ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ В ЧАСТОТНОЙ ОБЛАСТИ

В современных двигателях внутреннего сгорания (ДВС), для которых характерно уменьшение размеров и количества цилиндров, а также работа с переменным рабочим объемом за счет отключения цилиндров, эти изменения приводят к увеличению крутящих нагрузок. Это также вызывает увеличение вибраций в приводных системах. Одним из способов снижения данных нагрузок является использование демпфера вязкого трения. При установке на коленчатый вал он уменьшает крутильные колебания. Повышенное крутильное возбуждение от двигателя также увеличивает нагрузку на демпфер. Таким образом, правильная конструкция и размеры элементов двигателя приобретают все большее значение. Также необходимо учитывать прогрев демпфера и температурную зависимость параметров жесткости и демпфирования. В статье рассматривается, как эти нелинейные зависимости могут быть проанализированы в программном комплексе SimulationX, разработчиком которого является компания ESI Group.

## Немного теории

Классические стационарные подходы к анализу факторов влияния на процессы, протекающие в ДВС, основаны на линейных интегральных преобразованиях, таких как преобразование Лапласа или Фурье. Ввиду линейности преобразований в таком подходе легко описываются только линейные системы [1].

Сетевой подход к моделированию хорошо зарекомендовал себя для моделирования мультифизических систем (механической, гидравлической, пневматической, электрической и т.д.). В сетевой модели отсутствует причинно-следственная связь между элементами, то есть не существует предписанного направления распространения для конкретных физических величин в имитационной модели.

В рамках программного обеспечения SimulationX [2] реализовано решение, при котором стационарный анализ и моделирование переходных процессов могут выполняться в одной и той же модели, что делает процессы моделирования и имитации более эффективными.

SimulationX использует метод гармонического баланса [3]. С использованием данного метода можно получить спектральные результаты без полного преобразования системы в частотную область для стационарного режима работы и для нелинейных систем. Поскольку

нелинейное поведение учитывается в данном подходе, это позволяет не прибегать к методологии поиска решения посредством линейного анализа и итеративной настройки параметров. Итеративный подход аппроксимирует решение и зачастую требует значительного количества прогонов моделирования, в то время как метод гармонического баланса позволяет найти решение более точно и только за один цикл моделирования.

## Зависимость жесткости и демпфирования от температуры

Зачастую наблюдается экспоненциальная зависимость коэффициентов жесткости  $k$  и демпфирования  $b$  от температуры  $T$  (формулы (1) и (2)). При отображении на графике с логарифмическими осями эти зависимости становятся прямыми. На рис. 1 показана такая зависимость жесткости и демпфирования от температуры  $T$  для демпфера вязкого трения.

$$k = 65910 * e^{-0.009692 T} \quad (1)$$

$$b = 65910 * e^{-0.005812 T} \quad (2)$$

Подобную зависимость можно наблюдать и в отношении других материалов. На рис. 2 продемонстрированы зависимости для высокоэластичной муфты, из-

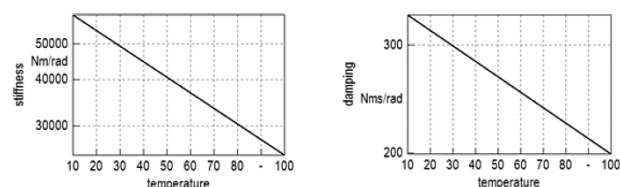


Рис. 1. Кривые зависимостей жесткости и демпфирования от температуры для демпфера вязкого трения (при перегреве)

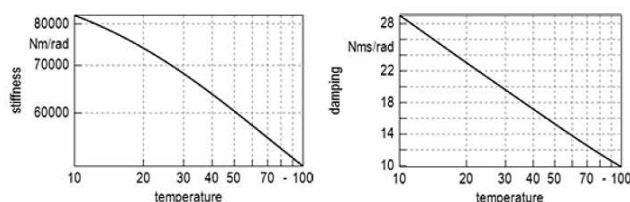


Рис. 2. Кривые зависимостей жесткости и демпфирования от температуры для муфты из натурального каучука (при перегреве), твердость по Shore – 60 единиц

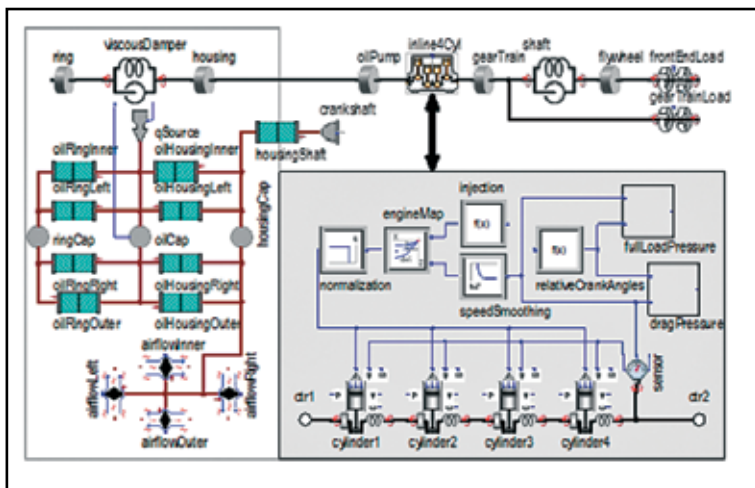


Рис. 3. Модель двигателя с вязким гасителем крутильных колебаний в SimulationX

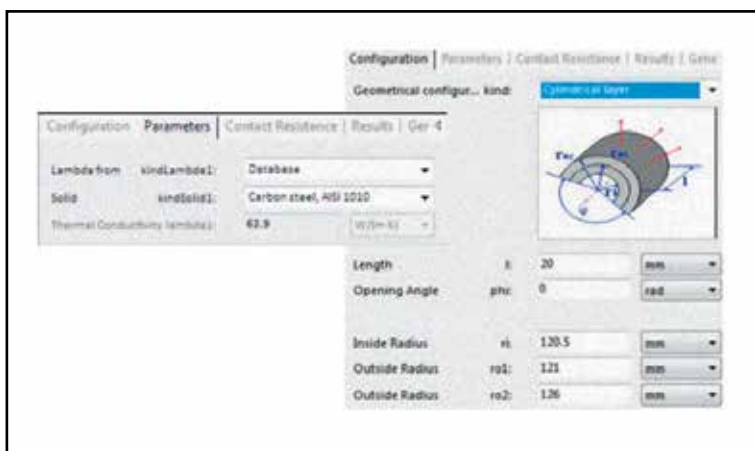


Рис. 4. Пример задания параметров по геометрическим размерам деталей

готовленной из натурального каучука с твердостью 60 единиц по Шору.

## Имитационная модель

На рис. 3 приведена модель двигателя, которая смоделирована в программном комплексе SimulationX. В левом верхнем углу рисунка показана приводная часть, которая начинается с демпфера крутильных колебаний (ring) и заканчивается справа маховиком двигателя (flywheel). Жесткость и демпфирование масла в демпфере смоделированы в пружинно-демпферном элементе модели (viscousDamper). В SimulationX реализована возможность использовать формулы при параметрировании элемента модели (в нашем случае это формулы (1) и (2)).

Маховик в модели соединен с крутящим моментом нагрузки (frontEndLoad). Данная нагрузка также служит компенсационным параметром, который необходим для балансировки средних значений по всей модели для достижения устойчивого поведения. В рассматриваемой модели двигатель (inline4Cyl) работает при полной нагрузке. Модель двигателя содержит в себе подмодель, которая показана в правом нижнем углу рис. 3.

В левой части рис. 3 приведена схема передачи тепла от элементов модели. Источником тепла для данной схемы является рассеиваемая мощность демпфе-

ра, вычисляемая в элементе viscousDamper и подаваемая через сигнальное соединение к источнику теплового потока qSource. Далее тепло передается маслу в демпфере (OilCap), откуда тепло отводится различными путями к уплотнительному кольцу (ringCap) и корпусу (housingCap). В SimulationX можно удобно задавать параметры по геометрическим размерам деталей и свойствам материалов из предоставляемой базы данных (рис. 4).

Теплообмен с картером двигателя осуществляется через элементы airflow, которые моделируют внешнюю вынужденную конвекцию. Элементы учитывают относительную скорость потока воздуха в зависимости от частоты вращения двигателя.

## Результаты

Величина рассеиваемой мощности демпфера и результирующие установившиеся температуры в демпфере показаны на рис. 5. Самая верхняя кривая – это общая мощность. Кривые в виде штрихов – эталонные значения без учета влияния температуры. Кривые со штрихами и точками показывают мощности, относящиеся к отдельным значениям вибрации.

При больших значениях демпфирования (как в данном случае) нелинейность и изменения температуры оказывают менее значительное влияние и существует лишь небольшая разница между результатами с учетом температуры и без её учета на локальных максимумах.

Однако при меньшем демпфировании температура оказывает более значительное влияние. Как видно на рис. 6, изменение собственных частот при нагреве демпфера изменяет амплитуды колебаний, и резонансные пики наклоняются влево (из-за падения собствен-

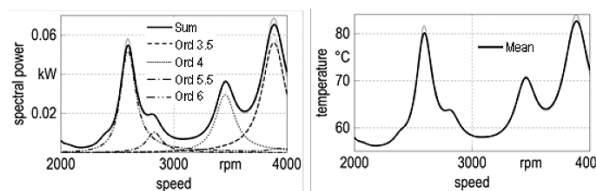


Рис. 5. Кривые зависимостей рассеиваемой мощности демпфера и температуры в демпфере вязкого трения от частоты вращения

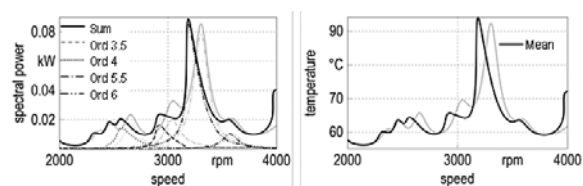


Рис. 6. Кривые зависимостей рассеиваемой мощности демпфера и температуры от частоты вращения при меньшем демпфировании

ных частот с увеличением температуры). Зависимости обратной связи также могут привести к значительному увеличению амплитуд: более высокие температуры смягчают материал, что приводит к большим деформациям и увеличению рассеиваемой мощности. Это в свою очередь приводит к увеличению температуры, что может привести к разрушению детали, как это иногда наблюдается в высокоэластичных соединениях.

## Заключение

В данной статье показано, что учет температурной зависимости параметров компонентов в приводах важен для реалистичной оценки их поведения. Рассмотрение таких зависимостей приводит к появлению нелинейных системных моделей, которые не могут быть обработаны методами классического стационарного моделирования, как это обычно делается при анализе

крутильных колебаний. В свою очередь метод гармонического баланса, реализованный в SimulationX, обладает повышенной точностью и, как следствие, повышает эффективность анализа.

По материалам ГК "ПЛМ Урал"

## Литература

[1] Abel, A., Schreiber, U., Werner, E., Bridging the Gap between Steady-State and Transient Simulation for Torsional Vibrations under Ice Impact, Proceedings of the 12th International Conference on Computer and IT Applications in the Maritime Industries – COMPIT' 13, Cortona, pp. 402-412 (2013).

[2] User Manual SimulationX, ITI GmbH Dresden (2014).

[3] Abel, A., Ndhring, T., Frequency-Domain Analysis Methods for Modelica Models, Proceedings of the 6th International Modelica Conference, Vol. 2, Bielefeld, pp. 383-391 (2008).

## НОВОСТИ

### Эксперты "Сименс" обсудили потенциал цифровизации в преодолении кризиса в промышленности

Компания "Сименс" приняла участие в Международном промышленном марафоне INNOPROM, который объединил представителей ведущих промышленных предприятий Европы, Азии и Америки. В рамках мероприятия состоялось несколько сессий, посвященных наиболее актуальным вопросам, стоящим перед промышленностью в период пандемии.

В главной стратегической сессии "Глобальная промышленность vs глобальная эпидемия" принял участие главный исполнительный директор Siemens Digital Industries, член правления "Сименс АГ" Клаус Хельмрих. Он отметил, что пандемия COVID-19, несомненно, стала самым серьезным вызовом последних десятилетий, однако он вряд ли будет последним, и чтобы адаптироваться к текущим условиям, промышленным компаниям необходимы цифровизация и автоматизация. Компании, уже вложившиеся в цифровизацию, более успешно справились с новыми реалиями.

«Сейчас первостепенной задачей для восстановления бизнеса можно считать инвестирование в устойчи-

вые долгосрочные инициативы, которые гарантируют большую жизнеспособность и эффективность нашей промышленности и инфраструктуры. Например, "Сименс" активно работает в сфере передачи электроэнергии и предлагает решения для распределительных энергосетей с использованием простых в установке современных технологий, не требующих сервисного обслуживания, и полностью автоматизированных подстанций. Такие решения выгодны не только операторам сетей, но и всем гражданам и компаниям страны, а эффективность такого подхода с применением интеллектуальных сетей доказана, например, в рамках проекта "Сименс" для Ленэнерго», – комментирует Клаус Хельмрих.

Последствия пандемии для машиностроительной отрасли стали темой сессии "Импортозамещение и локализация: кризис как драйвер машиностроительной отрасли". Вместе с участниками сессии президент "Сименс" в России Александр Либеров обсудил особенность нынешнего кризиса для современного машиностроения, влияние последних событий на развитие отрасли в России и как они отразились на импортозамещении и локализации.

«Внедрение цифровых технологий в производство – это не только непосредственно производственные площадки, но и вся экосистема кооперации: инжиниринговые, сервисные, ИТ-компании, компании-поставщики, участвующие в цикле разработки, производства и обслуживания промышленной продукции. В этой сфере актуально и целесообразно использовать международный опыт, и у нас есть множество примеров, как это работает на практике. Так, в прошлом году мы подписали с РЖД и с Группой Синара соглашение о создании инжинирингового центра, где "Сименс" будет выступать технологическим партнером. Проект высокоскоростных магистралей – это новый масштаб сотрудничества, который может стать отличным стимулом для развития объединенных компетенций и российской экономики», – подчеркнул Александр Либеров.

«"Сименс" много лет создает инновации, стирая границы между этапами разработки и эксплуатации изделий, а также объединяя виртуальный и реальный миры. Тема обмена и управления данными является ключевой для наших заказчиков, поэтому мы создали платформу Xcelerator, которая объединяет технологии управления жизненным циклом изделия, средства быстрой разработки приложений Mendix и операционную систему Интернета вещей MindSphere. Благодаря Xcelerator наши заказчики могут создавать приложения, предназначенные для оценки эксплуатационных характеристик и использования собранной информации на этапах конструкторско-технологического проектирования», – заявил генеральный директор Siemens PLM Software Виктор Беспалов, выступая на сессии "Экономика результата: цифровые данные как новая основа бизнес-модели".



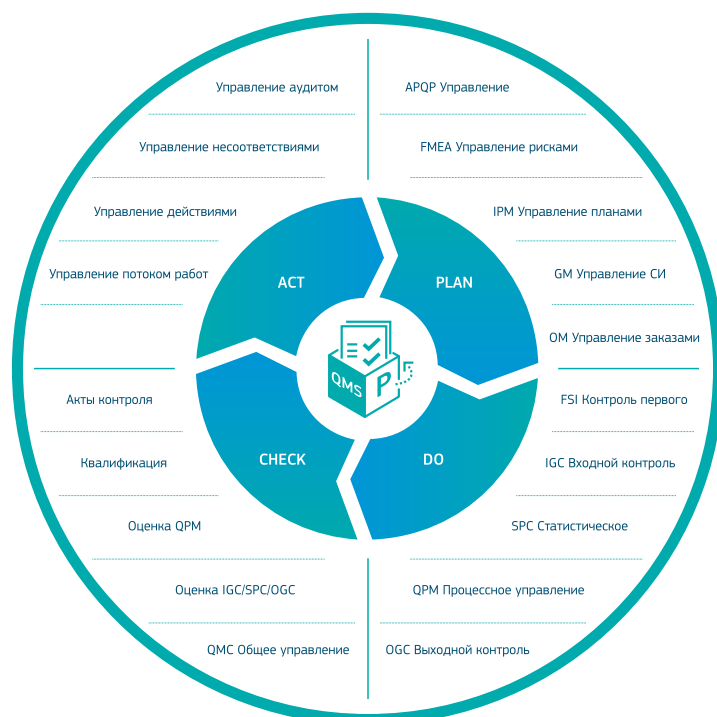


# Автоматизация менеджмента качества с Orcenter Quality

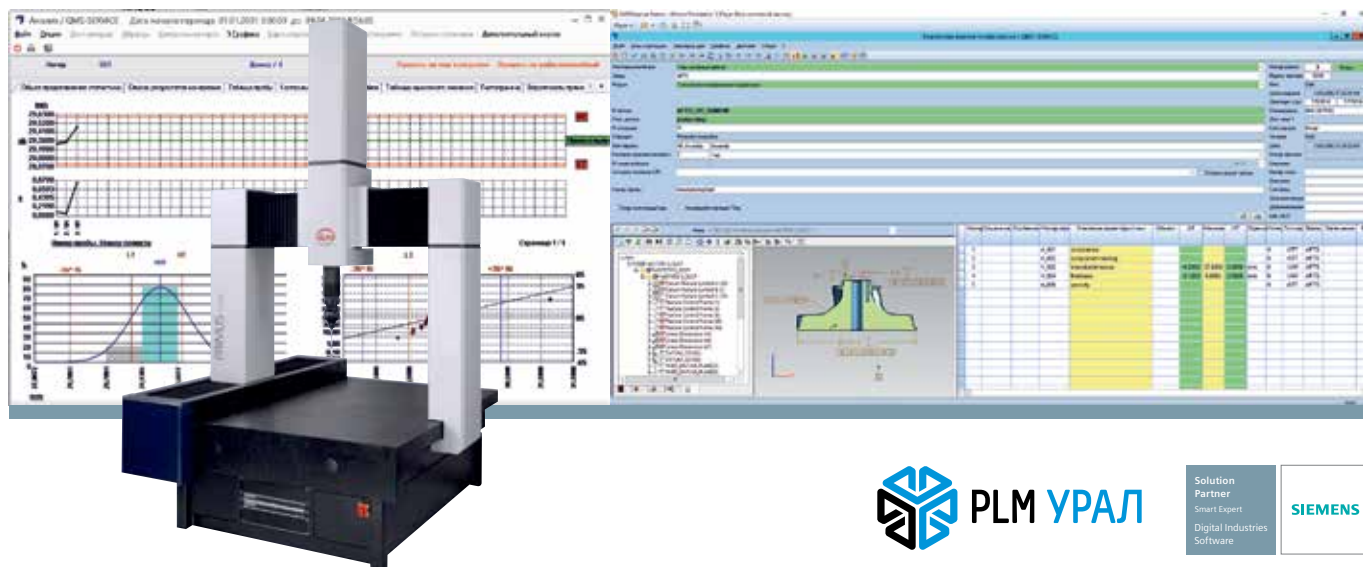
ГК «ПЛМ Урал» предлагает программный комплекс по автоматизации менеджмента качества Orcenter™ Quality (QMS Professional) от Siemens Digital Industries Software, ведущего поставщика программных средств и услуг по управлению жизненным циклом изделия (PLM) и управлению производством (MOM).

## Если вы хотите:

- Стандартизировать процессы управления качеством.
- Внедрить методы анализа рисков конструкции и технологии.
- Унифицировать процессы управления несоответствиями.
- Использовать 3D-аннотации (PMI) или данные чертежа для задач контроля.
- Планировать и выполнять контроль в электронном виде.
- Интегрировать менеджмент качества с другими ИТ-системами.
- Обеспечить автоматический съем данных с измерительного оборудования.
- Внедрить методы проверки выполнения требований заказчика.



## Это решение для вас!



Подробнее: [www.plm-ural.ru/qms](http://www.plm-ural.ru/qms)