



**SIEMENS**

*Ingenuity for life*

Siemens Digital Industries Software

# Оптимизация насосов и компрессоров

Использование Simcenter Amesim для  
достижения нормативных и рыночных  
требований

## Краткий обзор

В настоящее время поставщики роторного оборудования должны выполнять множество требований, например, в отношении уровня шума, вибрации и жесткости (NVH), выбросов и безопасности, а также в отношении снижения энергопотребления при сохранении производительности. В этих сложных условиях решения для численного моделирования систем могут помочь заказчикам правильно оценить разные варианты конструкции на самых ранних этапах разработки.

Поэтому разрабатываются и сравниваются с другими новые технологии на основе виртуальных моделей, которые позволяют исследовать всю область проектных решений и обеспечить соответствие как нормативным требованиям, так и ожиданиям заказчиков. Разнообразные и иногда несовместимые атрибуты насосов и компрессоров нужно сбалансировать, чтобы добиться снижения колебаний давления и крутящего момента, а также быстрого и точного регулирования расхода. Кроме того, необходимо анализировать взаимодействие между насосами/компрессорами и прочими компонентами и системами.

# Введение

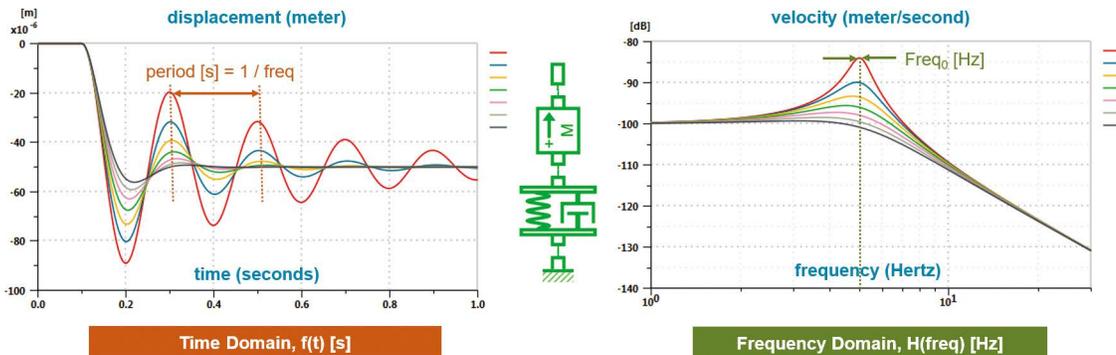
**Optimize multiple (and sometimes conflicting) attributes to comply with standards and customer expectations**

**Assess the impact of new component technologies on systems and machines**

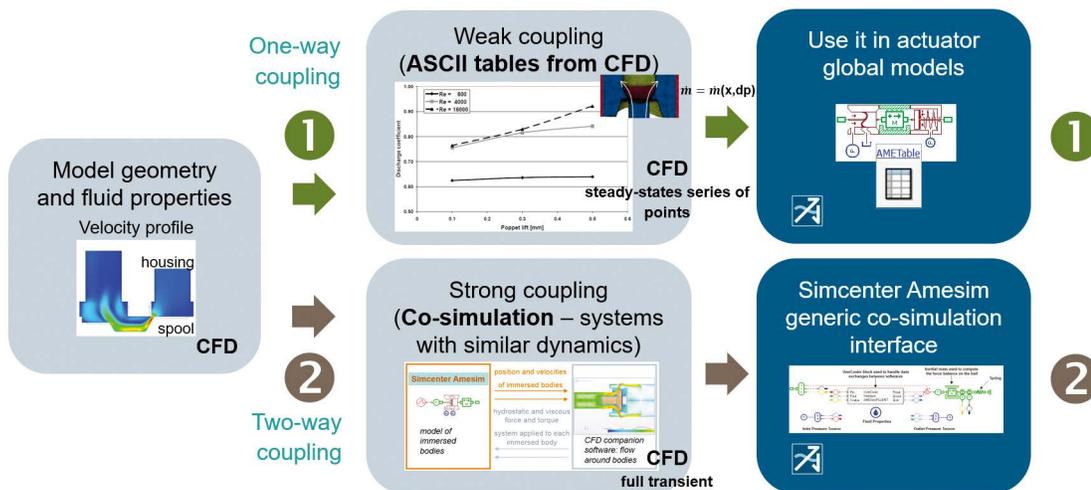
Fast and precise flow control	Smart displacement controls	Performance Reliability	Energy consumption & emissions
Leakage reduction	Reduced pressure oscillations	Energy consumption & emissions Performance	NVH Safety & reliability
Electric pumps / compressors	Interactions between supply units and system	Emissions	NVH Safety & reliability

Чтобы помочь поставщикам компонентов гидросистем разрабатывать высококачественные изделия при сокращенном цикле разработки с одновременным снижением затрат, Siemens предлагает программное обеспечение Simcenter™ Amesim™. Оно входит в интегрированный портфель программного обеспечения и сервисов Xcelerator™ от Siemens Digital Industries Software. В нем предлагаются библиотеки, содержащие компоненты из разных областей физики, а пользователь работает с механическими, электрическими, гидравлическими и термодинамическими и другими системами в единой, интегрированной среде.

Дополняющие численное моделирование во временной области инструменты частотной области в Simcenter Amesim, позволяют идентифицировать свободные и вынужденные отклики, такие как собственные значения и собственные колебания; корневой годограф и диаграммы Бode/Найквиста/Николса используются для исследования амплитуд и фаз функций преобразования между входными переменными (например, пульсационное возбуждение насоса) и наблюдателями (например, уровни давления в контуре).



В Simcenter Amesim предлагаются все нужные при разработке возможности, включая модели на основе геометрии (от функциональных до детализированных), и различные физические явления (от квазистатических до полностью динамических). Более того, открытость Simcenter Amesim позволяет сопрягать модели симуляции систем с инструментами вычислительной гидрогазодинамики (CFD) для анализа потоков жидкостей и газов в локальном масштабе. Программное обеспечение можно применять для оценки потерь давления в сложных трубопроводах, коэффициентов потока при определенных ограничениях или гидродинамических сил, действующих на тарельчатые/золотниковые клапаны.

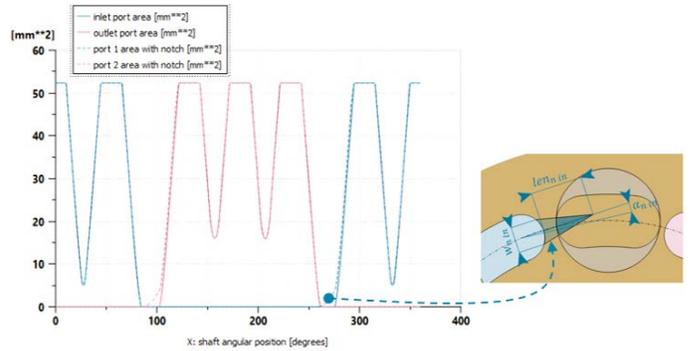
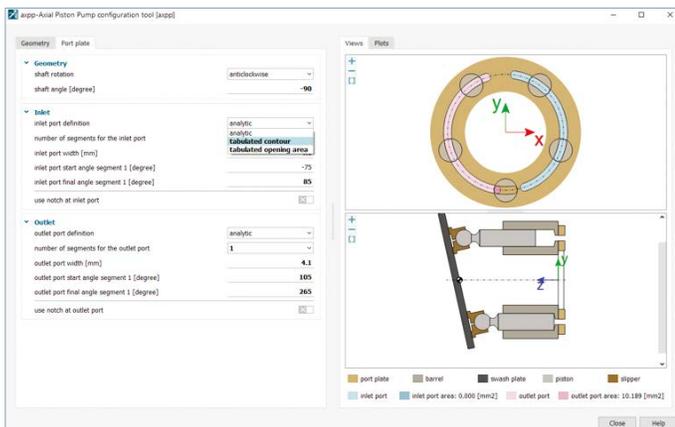


# Моделирование гидравлических систем

Для применения в гидравлике в Simcenter Amesim предлагаются три библиотеки для различных потребностей в симуляции в зависимости от доступных входных данных и динамики:

- Функциональные физические модели для общего/ преобладающего поведения на уровне системы для насосов, клапанов, аккумуляторов и т. д., описываемых общими характеристиками, доступными в таблицах данных.
- Гидравлические сопротивления для учета локальных потерь давления из-за изгибов, Т-образных разветвлений и других резких изменений геометрии трубопроводов. Эта библиотека может потребоваться для гидравлических труб на входном отверстии низкого давления в насосах, где интенсивные потоки могут вызвать отрицательное относительное давление и сильную аэрацию и кавитацию на всасывании.
- Для труб со сложной геометрией конструкторы могут легко построить и параметризовать модель Simcenter Amesim, используя возможности импорта CAD-систем внутри платформы для численного моделирования.
- И наконец, библиотека создания компонентов. Она включает множество моделей на основе геометрии для полного представления направления потока в золотниковых гидрораспределителях и тарельчатых клапанах, насосах, а также при утечках. Эта библиотека подходит для проектирования компонентов и оптимизации гидравлики.

При работе с насосами вытеснения полностью интегрированные модели могут использоваться на этапе предварительного проектирования, когда CAD-чертежа еще нет и нельзя сравнить различные варианты геометрии с помощью приложений для предварительной обработки для облегчения параметризации модели.

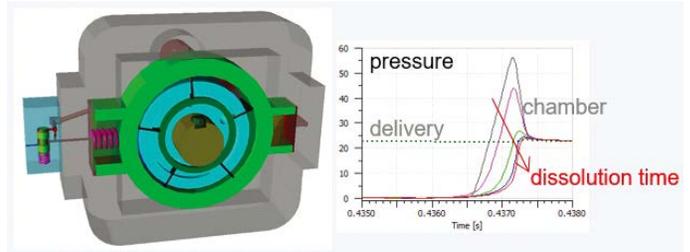
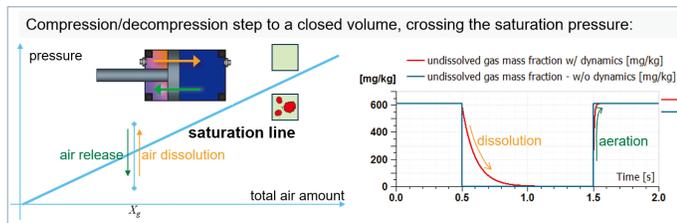


Как только появляется чертеж насоса, возможности импорта CAD-систем позволяют пользователю автоматически создавать эскиз и параметризовать модель насоса, извлекая ее геометрию напрямую.

При вычислении расширенных свойств потока всегда должны соблюдаться термодинамические принципы сохранения массы и энергии, чтобы обеспечить возможность прогнозирования явлений аэрации и кавитации, которые могут возникнуть, например, на входе насоса при более высоких угловых скоростях.

В самой сложной модели аэрации, подходящей для полного динамического анализа в гидравлических насосах, общий объем и объем нерастворенного воздуха являются независимыми переменными, вычисляемыми на основе законов сохранения массовых долей. Изменение массовой доли нерастворенного газа учитывает динамику аэрации и растворения с учетом запаздывания первого порядка, характеризующегося заданными пользователем постоянными времени либо более сложными законами.<sup>1</sup>

В данной статье<sup>2</sup> показано влияние динамики растворения воздуха на регулирование смазочного насоса переменного объема с регулируемой установкой давления. Такая динамика оказывает сильное влияние на одномоментное количество отделенного воздуха, который, в свою очередь, определяет значение модуля объемной упругости смеси воздуха/масла и скорость изменения давления.



# Моделирование пневматических систем

Simcenter Amesim предлагает библиотеки для различных потребностей численного моделирования пневматики в зависимости от доступных входных данных и динамики, которую требуется представить.

- В случаях работы с одним газом будет полезно, что библиотеки пневматики поддерживают работу со свойствами идеального, полуйдеального и реального газа.
- Решение для смеси газов подходит для самых разных смесей с учетом изменения состава в течение времени.
- При работе с двухфазным потоком доступны специальные библиотеки для анализа явления фазового перехода жидкости в испарителях или конденсаторах.

The image displays the Simcenter Amesim software interface. On the left, a 'Library Items' pane shows various pneumatic components categorized under 'Single-gas', 'Gas-mixture', and 'Two-phase flow'. On the right, a schematic diagram of an 'Air compressor system' is shown, including components like 'Air compressor', 'Cooling water', 'Air tank', 'Electric heater', 'Heater pressure control valve', and 'To manufacturing line'. A 3D model of the compressor is also visible at the bottom right.

# Примеры применения

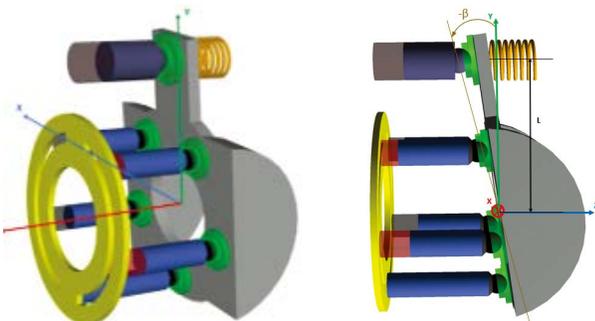
Среди всех возможных видов насосов и компрессоров, используемых в различных отраслях промышленности, в этом разделе основное внимание уделяется аксиально-поршневому насосу и поршневому компрессору.

## Аксиально-поршневой насос

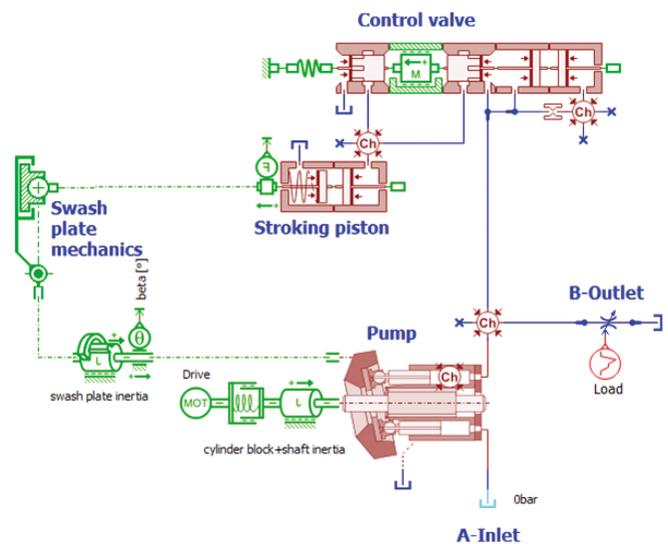
Аксиально-поршневые насосы широко используются в транспортном и промышленном секторах, а также для питания гидравлических систем реактивных самолетов. Эта технология позволяет достичь высокого объемного КПД даже при самом высоком гидравлическом давлении; кроме того, аксиально-поршневые насосы могут иметь постоянную или изменяемую конструкцию.

На следующем рисунке показан аксиально-поршневой насос переменного объема с поворотной шайбой.

Как только давление на выходе насоса достигает максимального значения, соответствующего давлению открытия регулирующего клапана, ходовой поршень, действующий на наклонную шайбу, начинает подвергаться давлению и перемещаться (слева направо), чтобы уменьшить угол наклона  $\beta$ , а затем подачу и расход насоса.



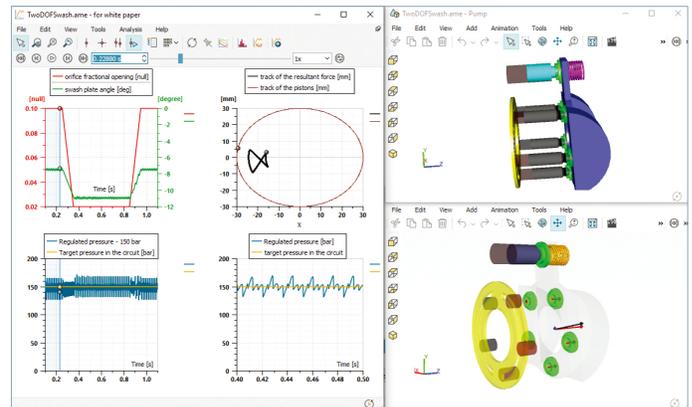
Модель насоса была автоматически сгенерирована и параметризована путем импорта файла CAD непосредственно в Simcenter Amesim. Кроме того, была добавлена механика регулирующего клапана, ходового поршня и наклонной шайбы, чтобы реализовать регулирование наклонной шайбы для уменьшения подачи насоса, когда давление на выходе достигает значения, равного предварительному натягу пружины.



Модель насоса объединяет множество влияющих на нее явлений, таких как:

- Кинематика поршней насоса
- Отверстия входной пластины (которые могут иметь пазы)
- Внутренние утечки, силы вязкого трения и сжимаемость жидкости, которые сильно возрастают, когда возникают явления аэрации и кавитации, особенно при самых высоких оборотах вала

Вышеописанная модель симуляции позволяет пользователю оптимизировать конструкцию насоса для уменьшения пульсаций потока и крутящего момента, улучшения характеристик NVH и повышения эффективности, а также гарантировать стабильное регулирование подачи во всем рабочем диапазоне.



Есть множество статей, в которых рассматривается использование Simcenter Amesim для проектирования и оптимизации аксиально-поршневых насосов.<sup>3, 4, 5, 6, 7</sup>

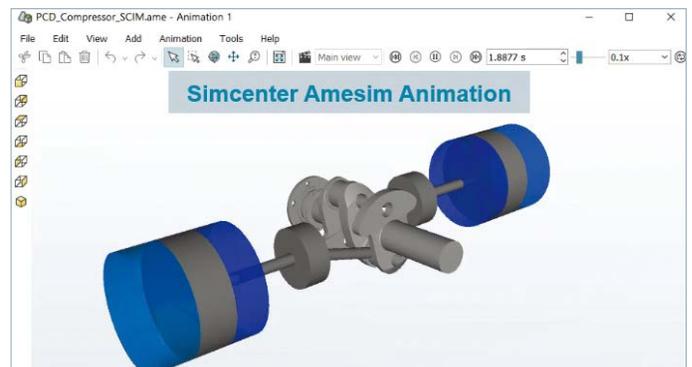
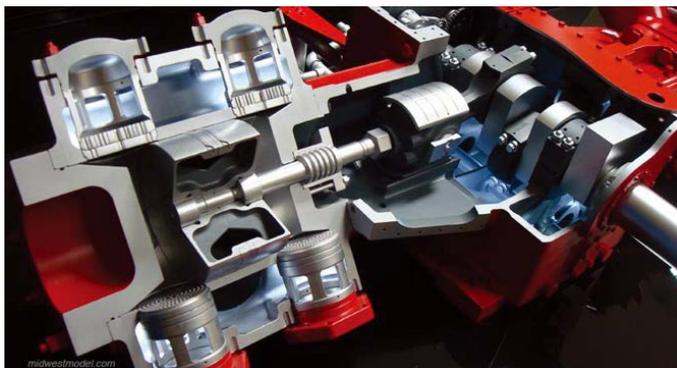
## Поршневой компрессор

Поршневой компрессор — это оборудование вытеснительного типа с ходовыми поршнями, которые сжимают газ и подают его под высоким давлением. Поршни приводятся в движение кривошипным механизмом.

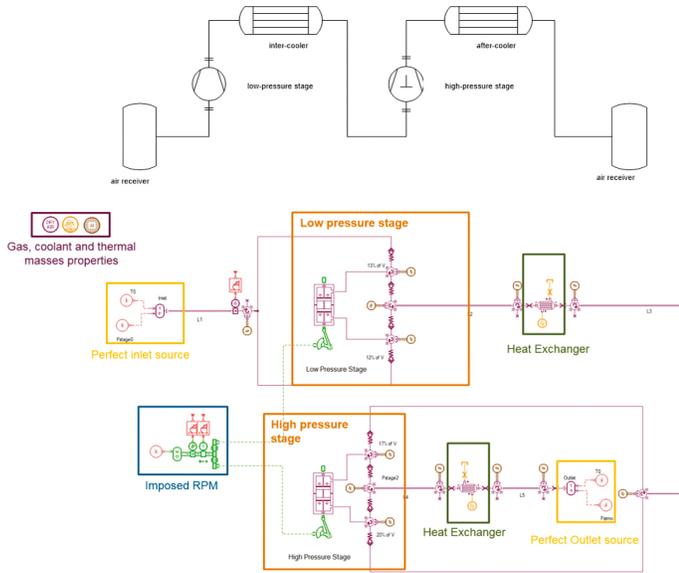
Компрессоры используются практически на всех промышленных предприятиях для выработки сжатого воздуха для различных обрабатывающих инструментов, для хранения и транспортировки газа, а также в нефтегазовой промышленности. Они могут иметь конструкцию

одностороннего или двойного действия. Особенностью конструкций двойного действия является то, что сжатие выполняется с обеих сторон поршня как при выдвигании, так и при втягивании.

Высокая степень сжатия достигается в несколько этапов за счет ряда компрессоров, работающих последовательно. Во время сжатия температура быстро увеличивается, поэтому теплообменники должны иметь пропорциональный размер, чтобы можно было избежать перегрева.

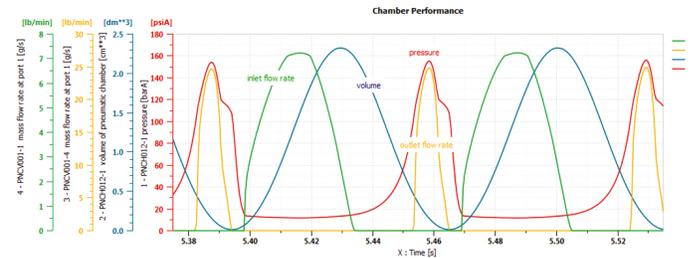


В данном примере показан компрессор двойного действия с двумя ступенями и двумя теплообменниками (промежуточным и добавочным охладителем) для снижения температуры.

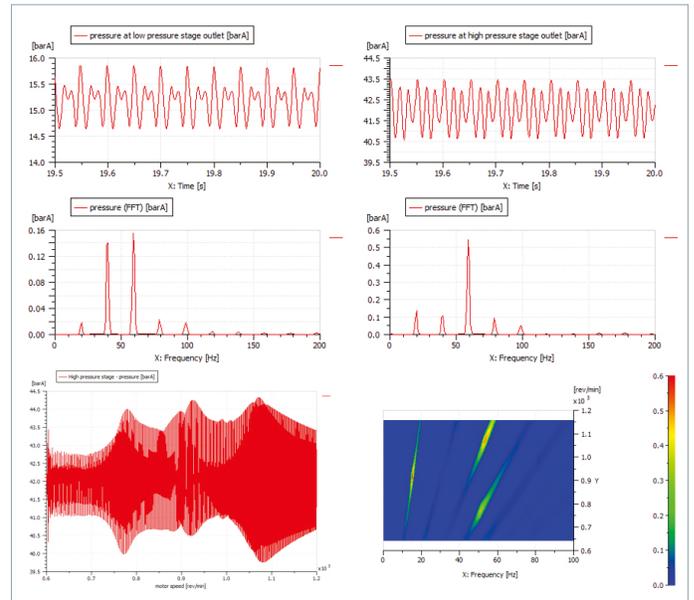


Вышеприведенная модель симуляции позволяет пользователю повысить производительность компрессора, прогнозируя требуемый крутящий момент, анализируя динамику газовой линии, уменьшая потери на прокачку (трение, утечки) и улучшая динамику трансмиссии компрессора (модальные формы, частотные характеристики).

Simcenter Amesim позволяет пользователям оценивать производительность каждой камеры с точки зрения изменения объема, расхода на входе и выходе и внутреннего давления.



На выходе из каждой ступени сжатия пользователи могут проверить уровень температуры, пульсации давления и влияние пневмолиний на демпфирование или усиление этих колебаний.

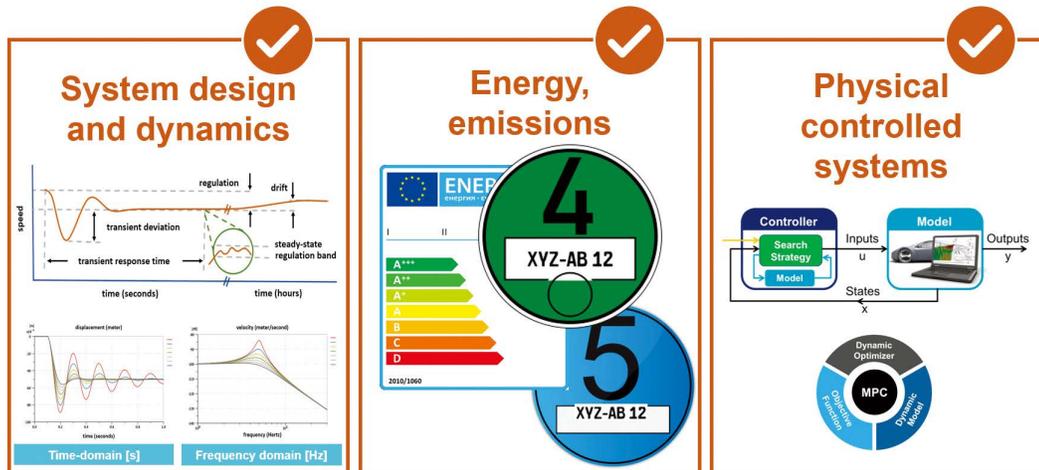


# Заключение

Simcenter Amesim поддерживает моделирование высокопроизводительных компонентов жидкостных систем и интеллектуальных мехатронных систем, снижая при этом временные и финансовые затраты на разработку.

Симуляция систем помогает конструкторам добиться правильного определения размеров и оптимизации динамических характеристик блоков подачи жидкости, клапанов,

теплообменников, приводов и других подключенных компонентов. Она также облегчает модификацию существующих или новых конструкций на ранних этапах, позволяя проверять тепловой режим при различных рабочих условиях и рабочих циклах и интегрировать стратегии интеллектуального управления в самом начале проектирования изделия.



## Ссылки

1. J. Zhou, A. Vacca, B. Manhartgruber. "A novel approach for the prediction of dynamic features of air release and absorption in hydraulic oils," *Journal of Fluids Engineering*, ASME, September 2013, Vol. 135.
2. M. Rundo et al. "Modelling of a variable displacement lubricating pump with air dissolution dynamics," *SAE Int. J. Engines* 2018, ISSN 1946-3936.
3. S. Stoll et al. "Simulation of hydraulic drive system using library elements," Bosch Rexroth, Elchingen, Mobile Conference 2006.
4. N. Timo et al. "Active systems for noise reduction and efficiency improvement of axial piston pumps," Bosch Rexroth, Fluid Power Motion and Control Conference 2008.
5. P. Achten et al. "A four-quadrant hydraulic transformer for hybrid vehicles," Innas BV, 11<sup>th</sup> Scandinavian International Conference on Fluid Power 2009.
6. M. Borghi et al. "Displacement control in variable displacement axial piston swashplate type pumps," 12<sup>th</sup> Scandinavian International Conference on Fluid Power 2011.
7. M. Rigosi et al. "Optimization of a low noise hydraulic piston pump," Newsletter Enginsoft Year 11 n°4, [https://www.enginsoft.com/assets/pdf/specialissue/newsletter\\_modeFRONTIER.pdf](https://www.enginsoft.com/assets/pdf/specialissue/newsletter_modeFRONTIER.pdf)

## Siemens Digital Industries Software

### Штаб-квартира

Granite Park One  
5800 Granite Parkway  
Suite 600  
Plano, TX 75024  
USA  
+1 972 987 3000

### Северная и Южная Америка

Granite Park One  
5800 Granite Parkway  
Suite 600  
Plano, TX 75024  
USA  
+1 314 264 8499

### Европа

Stephenson House  
Sir William Siemens Square  
Frimley, Camberley  
Surrey, GU16 8QD  
+44 (0) 1276 413200

### Азиатско-Тихоокеанский регион

Unit 901-902, 9/F  
Tower B, Manulife Financial Centre  
223-231 Wai Yip Street, Kwun Tong  
Kowloon, Hong Kong  
+852 2230 3333

### О компании Siemens Digital Industries Software

Siemens Digital Industries Software помогает создать цифровое предприятие и шагнуть в будущее разработки, производства и проектирования электронных систем. Xcelerator, комплексный и интегрированный портфель программного обеспечения и услуг Siemens Digital Industries Software помогает компаниям самого разного размера создавать цифровые двойники, которые открывают новые возможности, позволяют получать ценные знания, расширять автоматизацию и успешно внедрять инновации. Дополнительная информация по продуктам и услугам компании Siemens Digital Industries Software представлена на сайте [siemens.com/software](https://www.siemens.com/software), а также в социальных сетях [LinkedIn](#), [Twitter](#), [Facebook](#) и [Instagram](#). Siemens Digital Industries Software – Where today meets tomorrow.

### [siemens.com/software](https://www.siemens.com/software)

© 2020 Siemens. Список товарных знаков Siemens представлен [по ссылке](#).  
Все прочие товарные знаки являются собственностью их владельцев.

82757-83426-C3-RU 2/21 LOC