

Научная статья
УДК 519.67

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Сергей Николаевич Исаков

Уральский государственный лесотехнический университет,
Екатеринбург, Россия
isakovsn@m.usfeu.ru

Аннотация. Обобщен опыт компьютерного моделирования процессов промышленного оборудования. Представлены взаимодействия элементов цифровых двойников.

Ключевые слова: компьютерная модель, моделирование, технологическое оборудование

Scientific article

COMPUTER SIMULATION OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

Sergey N. Isakov

Ural State Forest Engineering University, Yekaterinburg, Russia
isakovsn@m.usfeu.ru

Abstract. The experience of computer modeling of industrial equipment processes is summarized. The interactions of elements of digital dvonics are presented.

Keywords: computer model, simulation, technological equipment

Всеобщий курс на цифровизацию был задан благодаря Федеральной целевой программе «Электронная Россия» и далее созданию Совета при Президенте Российской Федерации по развитию информационного общества в Российской Федерации и др., благодаря чему появились МФЦ, «Госуслуги», Национальный проект «Цифровая экономика» и др.

Конечно, общие тенденции не смогли обойти промышленность и производство, а точнее, не смогли развиваться вне других сфер жизни без начала перехода на цифровые стандарты, благодаря чему созданы целые группы ГОСТов по компьютерному и цифровому моделированию. В зависимости от целей и задач используются различные организации и уровни моделирования.

Математическая модель может быть представлена в виде математических зависимостей параметров системы (или тела) от каких-то внешних или технологических факторов. Модель может включать в себя множество факторов и несколько откликов системы. Например, некоторые факторы могут увеличивать вибрацию машины, некоторые мощность, некоторые влиять на ресурс и т. д. Для решения сложных математических моделей (со множеством переменных, входных и выходных параметров и т. д.) предлагается использовать программы математического профиля: MathCAD, Matlab и др. Для простого моделирования (небольших и несложных зависимостей) подойдут даже программы Microsoft Excel или его аналоги.

Компьютерная модель может быть создана на основе твердотельных моделей в программах, в которых есть соответствующие модули, например в программе «Компас 3Д» – модуль APMFem, Solidworks – Simulation и др. Возможности этих модулей разные и по типу расчетов и по «инструментам». Но есть и специализированные расчетные программы ANSYS, T-Flex, APM-Win Machine, Elcut и др. В этих программах на основе метода конечных элементов производятся различные расчеты и моделируются процессы (напряженно-деформированного состояния, гидродинамические, тепловые, магнитные и другие типы расчетов).

Цифровые же модели включают в себя математические и компьютерные модели с детальной проработкой и геометрией и моделированием процессов в оборудовании. И в них уже желательно, чтобы отражались нюансы геометрии и физики. Например, отражены погрешности сборки и монтажа, погрешности изготовления, возможные технологические отклонения и т. д., так как это будет влиять на отклики системы на факторы: повышение вибрации, пульсации, мощности и т. п.

Цифровые двойники используются для диагностики и прогнозирования технического состояния и ресурса, формирования списка работ и запасных частей при предстоящем обслуживании или ремонте, а также дают возможность изменять параметры оборудования для оптимизации его работы. Зная параметры оборудования и режимы работы, можно спрогнозировать работу при их изменении: например, как изменится работа агрегата, если увеличить давление, концентрацию, температуру и т. д. Либо, наоборот, какие должны быть параметры работы для уменьшения энергоемкости, увеличения ресурса и т. д. То есть использовать цифровой двойник как некую виртуальную лабораторную установку для проведения виртуальных экспериментов или воспроизведения определенных сценариев развития событий.

В некоторых источниках вводится понятие «агрегатор» [1]. Одно из возможных применений – сбор данных о техническом состоянии и параметрах работы оборудования и анализ этого с целью отправки рекомендаций по проведению ремонтов, регулировок, настроек и т. д. работающего оборудования, а также отправка запасных частей и

ремонтных комплектов заранее на основе прогнозирования, чтобы не дожидаться аварийного отказа.

Далее рассмотрим примеры моделирования различных устройств, которые были проведены в УГЛТУ. Объем работ оказался довольно значительным, поэтому приведены только расчеты по гидродинамическому моделированию. Так как моделирование проводилось в рамках дипломных проектов, эта и последующие модели упрощены до определенного уровня. Первый пример: моделируется движение жидкости в гидродинамическом напускном устройстве бумагоделательной машине, так как равномерность отлива сильно сказывается на равномерности физических свойств полотна. Поэтому требуется изучать гидродинамические процессы в технологических аппаратах. В модели свойства бумажной массы приняты такие же, как для чистой воды. Создавалась 3D-модель жидкости в оборудовании, задавались свойства жидкости и граничные условия. Расчет представляется в виде объемной картины распределения скоростей (рис. 1) [2] и векторного распределения скоростей (рис. 2) [3]. На рис. 3 представлены линии тока жидкости через перфорированную плиту гасителя пульсации давления и объемная картина распределения скоростей (рис. 4) [4].

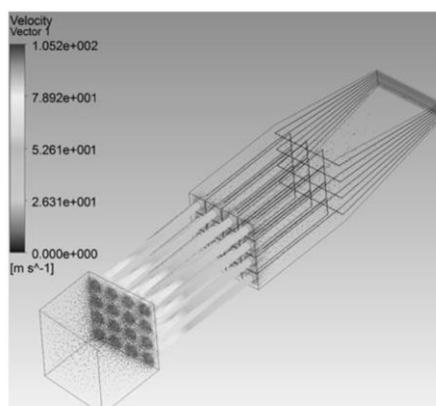


Рис. 1. Объемная картина распределения скоростей в потоке

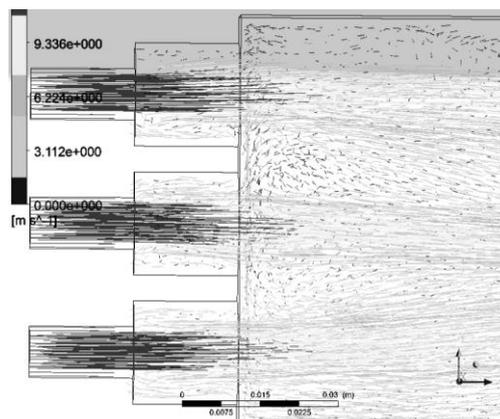


Рис. 2. Векторы скоростей движения жидкости

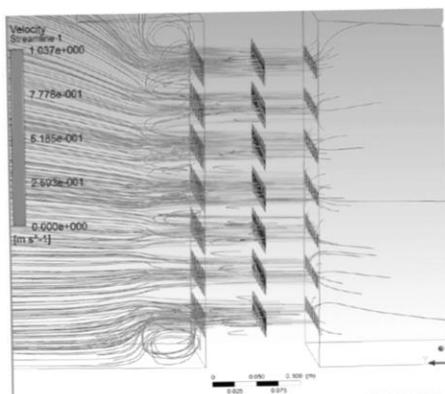


Рис. 3. Линии тока бумажной массы через перфорированную плиту

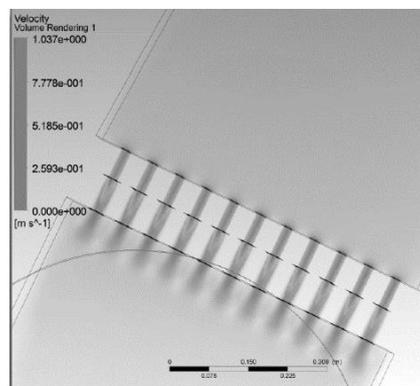


Рис. 4. Объемная картина распределения скоростей в потоке через перфорированную плиту

На качестве бумаги также сильно сказывается качество очистки бумажной массы, которая производится в вихревых очистителях. Их работу также необходимо моделировать (исследовать) при различных режимах, например при частичном или полном засорении (рис. 5) [5]. Моделирование также необходимо при проектировании новых конструкций аппаратов. На рис. 6 представлена векторная картина распределения скоростей в объеме жидкости внутри строенного вихревого очистителя [6].

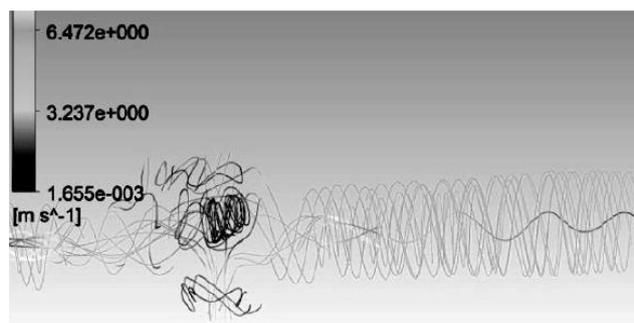


Рис. 5. Линии тока бумажной массы в вихревом очистителе при частичном засорении

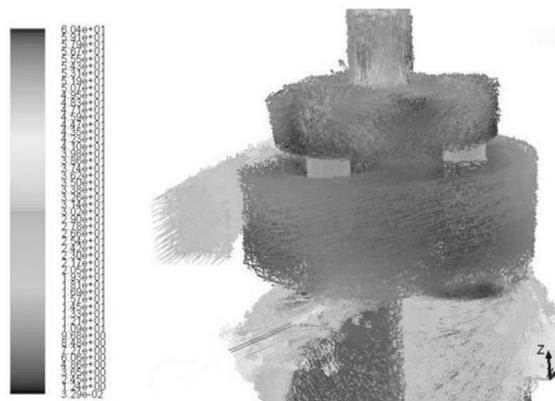


Рис. 6. Векторная картина распределения скоростей в объеме строенного вихревого очистителя

Один из основных источников пульсации давления бумажной массы, которая также ухудшает ее качество, это насосное оборудование. На рис. 7 представлена картина распределения давления в экспериментальном четырехдисковом насосе [7]. Процесс смешивания двух жидкостей в центробежном насосе при его работе представлен в виде полей концентраций на рис. 8.

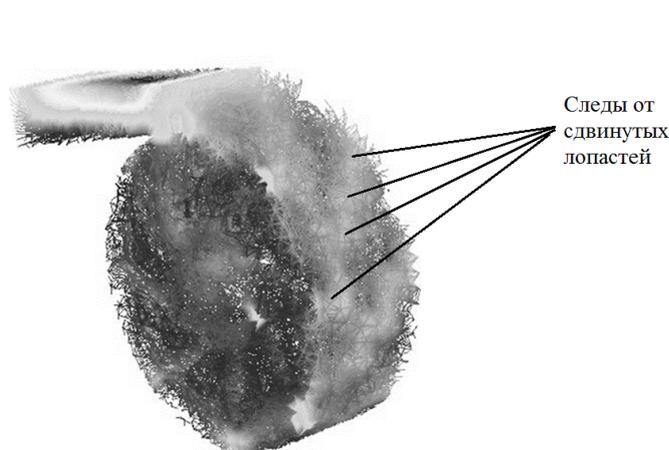


Рис. 7. Поля динамического давления

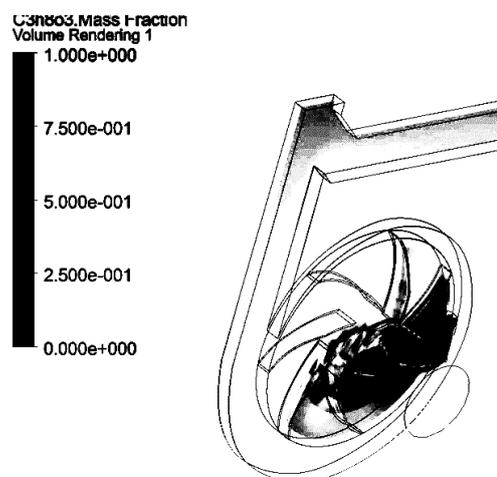


Рис. 8. Поля концентраций двух жидкостей при смешивании

Важную роль занимает централизованная система смазки, от работы которой зависит работа и ресурс бумагоделательной машины. Исследовались режимы движения масла в маслобаке прямоугольной формы (рис. 9) и цилиндрической (рис. 10) [8].

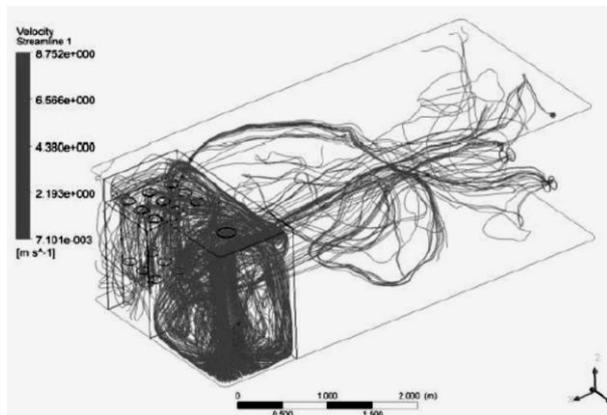


Рис. 9. Линии тока в прямоугольном маслобаке

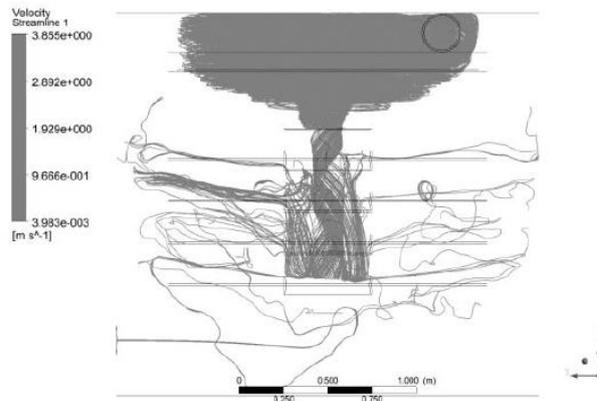


Рис. 10. Линии тока в цилиндрическом маслобаке

Кроме моделирования процессов ведется работа еще и над цифровыми моделями технологического оборудования, схемы которых представлены на рисунках 11 и 12 [1].

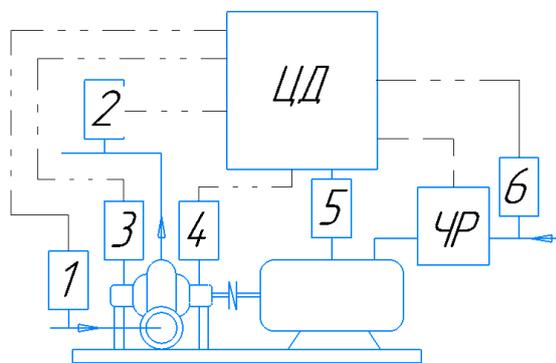


Рис. 11. Взаимодействие цифрового двойника и насоса: ЦД – цифровой двойник; ЧР – частотный регулятор; 1 и 2 – манометры; 3, 4 и 5 – датчики измерения вибрации и температуры; 6 – амперметр или ваттметр

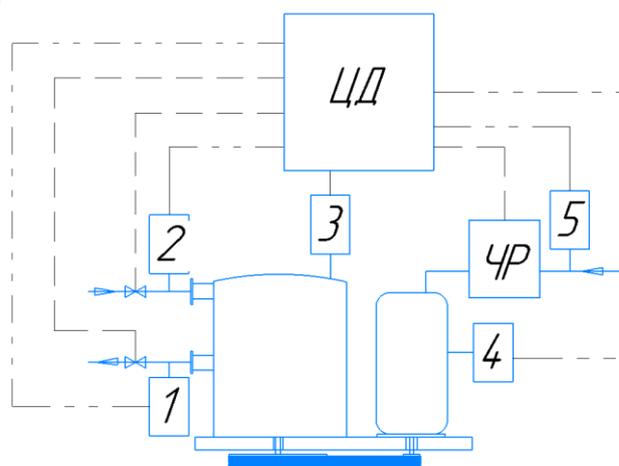


Рис. 12. Взаимодействие цифрового двойника и сортировки: ЦД – цифровой двойник; ЧР – частотный регулятор; 1 и 2 – манометры; 3 и 4 – датчики измерения вибрации и температуры; 5 – амперметр или ваттметр

Дальнейшая работа будет заключаться в «приближении» компьютерных моделей к реальным и развитию направления цифровых двойников.

Список источников

1. Исаков С. Н., Калмыков Д. С. Цифровые двойники оборудования массоподводящей системы // Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса : матер. XIII Междунар. науч.-техн. конф., Екатеринбург, 02–04 февраля 2021 года. Екатеринбург : УГЛТУ, 2021. С. 379–383.

2. Червинский И. А. Модернизация напускного устройства для более равномерного отлива бумажного полотна // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : матер. XVII Всерос. (нац.) науч.-техн. конф., Екатеринбург, 05–17 апреля 2021 года. Екатеринбург : УГЛТУ, 2021. С. 168–171.

3. Калмыков Д. С., Исаков С. Н. Исследование гидродинамических процессов в модернизированном напускном устройстве // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : матер. XVIII Всерос. (нац.) науч.-техн. конф., Екатеринбург, 04–15 апреля 2022 года. Екатеринбург : УГЛТУ, 2022. С. 334–337.

4. Чусовитин А. С. Моделирование движения бумажной массы через перфорированную плиту гасителя пульсации // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : матер. XVII Всерос. (нац.) науч.-техн. конф., Екатеринбург, 05–17 апреля 2021 года. Екатеринбург : УГЛТУ, 2021. С. 171–173.

5. Часовников В. В. Исследование режимов работы вихревого очистителя twin cleaner 132 // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : матер. XVII Всерос. (нац.) науч.-техн. конф., Екатеринбург, 05–17 апреля 2021 года. Екатеринбург : УГЛТУ, 2021. С. 165–168.

6. Бочкарев П. А., Исаков С. Н. Исследование гидродинамических процессов в блоке вихревых очистителей // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : матер. XVIII Всерос. (нац.) науч.-техн. конф., Екатеринбург, 04–15 апреля 2022 года. Екатеринбург : УГЛТУ, 2022. С. 308–311.

7. Маслюков Э. С., Исаков С. Н. Модернизация массного насоса с целью уменьшения пульсации давления // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России : матер. XVIII Всерос. (нац.) науч.-техн. конф., Екатеринбург, 04–15 апреля 2022 года. Екатеринбург : УГЛТУ, 2022. С. 341–344.

8. Брюханов Д. А., Исаков С. Н. Исследование гидродинамических процессов в маслобаке централизованной системы смазки БДМ // Перспективы развития техники и технологий в целлюлозно-бумажной и лесоперерабатывающей промышленности : матер. VII Всерос. отрасл. науч.-практ. конф., Пермь, 22–23 апреля 2019 года. Пермь, 2019. С. 15–17.