

# Совершенствование технологического процесса сборки узла топливного насоса высокого давления средствами имитационного моделирования

А.Г. Ефимов, И.В. Макарова (Набережночелнинский институт Казанского федерального университета)

## Введение

Автомобилестроение относится к тем отраслям экономики, которые, создавая высокотехнологичную продукцию, в то же время во многом определяют развитие и других отраслей, поскольку автомобильная техника решает проблему мобильности населения, осуществляет доставку грузов “от двери до двери”; кроме того, практически во всех отраслях представлена широкая гамма техники на автомобильных шасси. Автомобилизация, уровень которой как в мире, так и в России, достиг критических размеров, создает целый ряд проблем, которые вынуждают производителей находить все новые решения, постоянно совершенствуя как конструкцию, так и технологии производства, поскольку выдержать значительную конкуренцию на рынках можно только путем непрерывного развития и применения инновационных решений.

Так как производство автомобилей является сложным и трудоемким делом, необходимо исследовать технологические процессы и совершенствовать их – для того, чтобы снизить физическую нагрузку на сборщика, уровень травматизма на производстве и риски возникновения профессиональных заболеваний.

## Имитационное моделирование как инструмент совершенствования технологических процессов

Имитационное моделирование является тем инструментом, который позволяет выполнить не только качественный анализ процессов, но и исследовать последствия тех или иных изменений в них, а также выбрать вариант, удовлетворяющий всем задаваемым ограничениям, получив при этом те параметры системы, которые будут оптимальными при заданных условиях. Программное обеспечение, разрабатываемое для этих целей, позволяет строить модели, отображающие процессы так, как они проходили в действительности, а затем провести ряд виртуальных экспериментов, задавая модельное время, причем это может быть как единичное испытание, так и некоторое заданное их множество. Результаты при этом будут определяться случайным характером процессов.

Нами были исследованы производственные процессы сборочного участка завода двигателей ОАО “КАМАЗ”, а

именно – производство силовых агрегатов для грузовых автомобилей. Основная задача, решаемая при этом, заключалась в совершенствовании технологического процесса сборки узла топливного насоса высокого давления (ТНВД).

Поскольку процесс сборки является заключительным этапом изготовления автомобиля, и в значительной степени определяет его эксплуатационные качества, очевидна особая важность и ответственность данного этапа. Метод имитационного моделирования в этом случае является оптимальным с той точки зрения, что позволяет учесть множество параметров и получить нужный результат, не прибегая к натурному эксперименту.

На начальном этапе проектирования процесса необходимо выполнить следующие работы:

- подготовка данных (идентификация, спецификация и сбор данных);
- определение условий проведения виртуального эксперимента с имитационной моделью.

После того, как выполнено моделирование деятельности пользователей, проводится анализ результатов имитационного эксперимента для подготовки выводов и рекомендаций по решению проблемы. Затем, при необходимости, выполняется оптимизация имитационной модели, после чего разрабатываются и реализуются рекомендации, полученные на основе имитации, а также составляется документация по модели и её использованию.

Программное обеспечение, применяемое для моделирования рассматриваемого технологического процесса и структурная схема информационных потоков представлена на рис. 1. Там же отображены входные и выходные данные.

Конструкторская документация выполнена в системе автоматизированного проектирования NX. Эта система предоставляет среду для моделирования и прочих операций с трехмерными объектами,

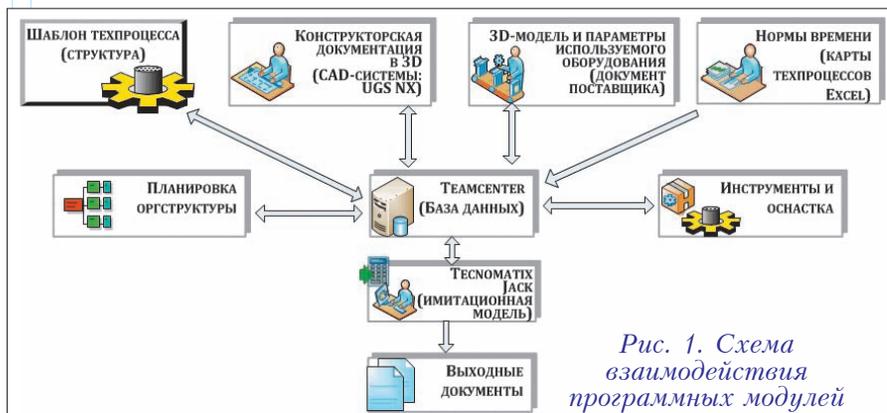


Рис. 1. Схема взаимодействия программных модулей

используемыми в имитационной модели. В этой среде выполняют моделирование оборудования, инструментов, оснастки, а также прочих трехмерных объектов интерактивной планировки сборочного конвейера, необходимых в реальном производстве.

Система *Teamcenter* с программным пакетом *Tecnomatix* позволяет использовать данные о

технологической подготовке производства для анализа, моделирования и имитации производственных процессов. Сервис-ориентированная архитектура *Teamcenter* обеспечивает интеграцию в среду *PLM* различных данных из применяемых на предприятии *CAM*-, *ERP*- и *MES*-систем.

Средство моделирования цифровых манекенов *Tecnomatix Jack* представляет собой набор решений, предназначенный для моделирования работы персонала (в частности сборщика) и оценки соответствия требованиям эргономики конструкции изделия, технологических процессов и операций технического обслуживания.

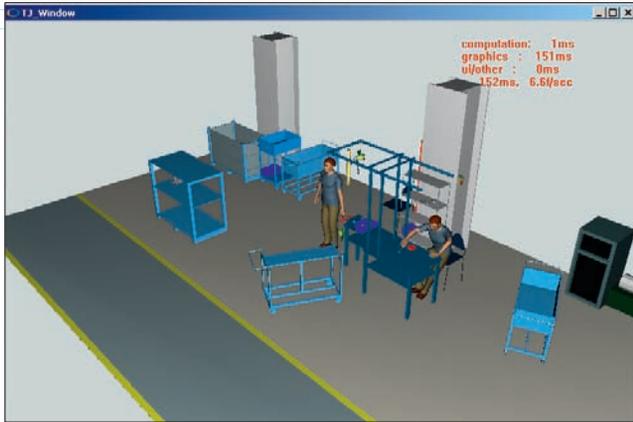


Рис. 2. Построение имитационной модели в среде *Tecnomatix Jack*

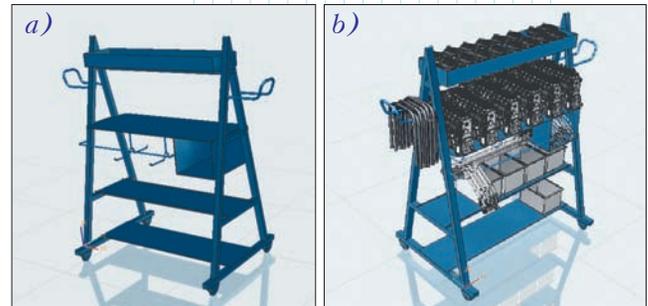


Рис. 5. Эргономическая оснастка: а) пустая б) загруженная

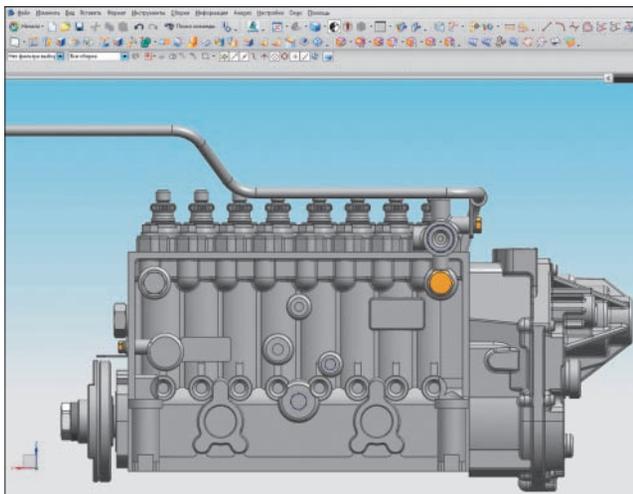


Рис. 3. Проектирование 3D-моделей в среде *NX*

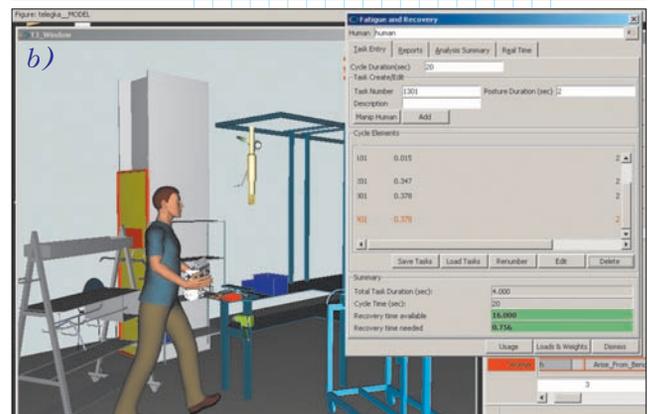
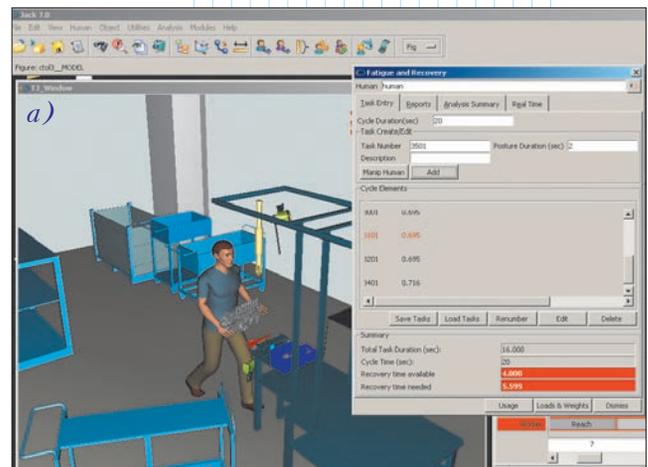


Рис. 6. Операция установки ТНВД на специальную подставку: а) до внедрения оснастки; б) после внедрения оснастки

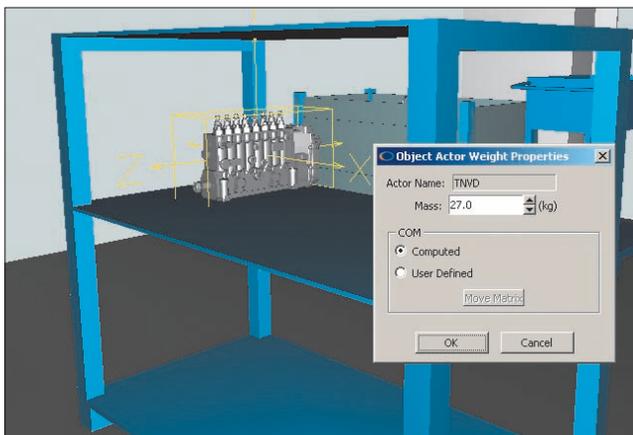


Рис. 4. Назначение массы используемых объектов

Для совершенствования процесса сборки, а также снижения нагрузки на сборщика, была спроектирована эргономическая оснастка, представляющая собой тележку, с помощью которой осуществляется перемещение сборочных единиц к месту сборки. Анализ эффективности предложенных решений проводился на модели путем сравнения продолжительности технологических операций до внедрения оснастки и после внедрения.

Имитационная модель в среде *Tecnomatix Jack* (рис. 2) проектируется после детального изучения необходимой информации, такой как описание технологического процесса под сборки ТНВД, рабочие инструкции, требования завода-изготовителя, планировка рабочей зоны, сведения о комплектности установки и используемых инструментах. В состав модели входят 3D-объекты, спроектированные ранее в среде *NX* (рис. 3), включающие в себя оборудование и инструменты, находящиеся на данном сборочном участке, все детали, комплектующие ТНВД, а также операторы сборки.

Далее в трехмерной среде *Tecnomatix Jack* задаются необходимые операции для манекена-сборщика, а также перемещения, осуществляемые им при выполнении сборочного процесса. Помимо этого задаются значения массы всех активных объектов, которые использует сборщик (рис. 4).

В табл. 1 приведено сравнение сборочных операций. Спроектированная тележка показана на рис. 5.

После изменения параметров имитационного эксперимента, внесения изменений в операции и перемещения с учетом созданной оснастки манекена-сборщика, был проведен эргономический анализ во всех вариантах, предусмотренных в среде *Tecnomatix Jack*. При этом фиксировалось время, затрачиваемое манекеном на сборку и транспортировку ТНВД.

Анализ степени усталости и параметров восстановления работоспособности при выполнении

Табл. 1. Сборочные операции

До внедрения оснастки	После внедрения оснастки
1) закрепление ТНВД на специальной подставке	
2) установка полумуфты	
3) установка топливной трубки	
4) установка управляющего электропровода	

технологической операции закрепления ТНВД на специальную пластину показал, что в случае, когда период такта сборки составляет 20 секунд, оператор не имеет времени на восстановление (рис. 6а), тогда как при использовании эргономической оснастки он успевает восстановить свои силы, имея значительный запас времени (рис. 6б).

Помимо этого был проведен анализ *OWAS Posture Evaluation*, позволяющий оценивать положения тела по степени риска получения травм. Результат

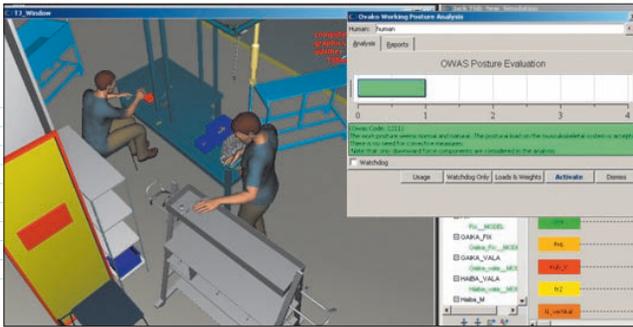


Рис. 7. Анализ степени риска травмирования по положению тела сборщика при выполнении операции установки полумуфты

оказался положительным, поскольку все показатели находятся в допустимом диапазоне (рис. 7).

### Выводы

Наше исследование показало, что, в результате совершенствования технологического процесса на сборочном участке путем внедрения эргономической оснастки, общее время операций при сборке ТНВД уменьшается на 15%. Помимо этого, снижается степень усталости сборщика и риск получения им травм, что было подтверждено результатами экспериментальных исследований с применением имитационной модели. 🍷

### Литература

1. Имитационное моделирование // [simulation.su](http://simulation.su)
2. Don B. Chaffin. The evolving role of biomechanics in prevention of overexertion injuries. // Ergonomics, 2009, vol. 52, issue 1, p. 3–14 // [dx.doi.org/10.1080/00140130802479812](http://dx.doi.org/10.1080/00140130802479812)
3. Palmerud G., Forsman M., Neumann W. P., Winkel J. Mechanical exposure implications of rationalization: A comparison of two flow strategies in a Swedish manufacturing plant // Applied Ergonomics, 2012, vol. 43, p. 1100–1121.
4. Kazmierczaka K., Mathiassenc S.E., Forsman M., Winkel J. An integrated analysis of ergonomics and time consumption in Swedish 'craft-type' car disassembly // Applied Ergonomics, 2005, vol. 36, p. 263–273.

### Авторы:

- Макарова Ирина Викторовна, д.т.н., профессор, Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) федерального университета, кафедра “Сервис транспортных систем” ([kamIVM@mail.ru](mailto:kamIVM@mail.ru)).
- Ефимов Александр Геннадьевич, Набережночелнинский институт Казанского (Приволжского) федерального университета, магистрант кафедры “Сервис транспортных систем” ([lexs333@mail.ru](mailto:lexs333@mail.ru)).

## ◆ Выставки ◆ Конференции ◆ Семинары ◆

**19-21 марта**

Международный выставочный центр «ИнтерСиб»  
Выставочная компания «Омск-Экспо»

**СИБИРСКИЙ ПРОМЫШЛЕННО-ИННОВАЦИОННЫЙ ФОРУМ**

**ОМСК  
2014**

**ПромТехЭкспо**

При поддержке:  
Российский союз промышленников и предпринимателей  
Омская торгово-промышленная палата  
НП «Сибирское машиностроение»




генеральный  
информационный  
спонсор





**В экспозиции:**

МАШИНОСТРОЕНИЕ  
МЕТАЛЛООБРАБОТКА  
АВТОМАТИЗАЦИЯ  
СВАРКА  
ОМСКГАЗНЕФТЕХИМ  
ЭНЕРГОСИБ. СИБМАШТЭК  
ИН-ЭКСПО. МЕТРОЛОГИЯ

Тел./факс: (3812) 22-04-59, 25-84-87, 23-23-30  
E-mail: [expo@intersib.ru](mailto:expo@intersib.ru), [ssg@intersib.ru](mailto:ssg@intersib.ru)

[www.intersib.ru](http://www.intersib.ru)