Принципы модульности проектирования и обслуживания локомотивов

Глеб НЕКРАСОВ
Gleb I. NEKRASOV

Валентин БАЛАБИН
Valentin N. BALABIN

Некрасов Глеб Игоревич — старший преподаватель Российского университета транспорта, Москва, Россия.

Балабин Валентин Николаевич — доктор технических наук, профессор Российского университета транспорта, Москва, Россия.

Principles of Modularity in Design and Maintenance of Locomotives

(текст статьи на англ. яз.
English text of the article – p. 86)

Выполнен тематический патентный поиск по направлениям проектирования модульных систем на транспорте и в промышленности. Наибольший процент использования имеют: железнодорожное, сельскохозяйственное, энергетическое машиностроение, космическая промышленность и судостроение. В меньшей степени модульный принцип проектирования задействован в среднем и точном машиностроении. Рассмотрена новая концепция применения на локомотивах модулей основного и вспомогательного оборудования, при которой уделяют ключевое внимание компонентам модулей и унификации их комплектующих. Применение модульной компоновки оборудования в машинном отделении позволяет значительно снизить эксплуатационные затраты и ускорить сервисные операции обслуживания локомотивов. Проведено сравнение операций оперативного обслуживания болидов «Формулы-1» и модульных локомотивов.

Ключевые слова: локомотив, патентный поиск, модульное проектирование, транспортное машиностроение, эксплуатация, железные дороги.

Модульное проектирование, как показал патентный поиск, в последнее десятилетие получило распространение в различных сферах промышленности: автомобиле- и судостроении, железнодорожном машиностроении, энергетике, авиационной, космической, радиоэлектронной отраслях. На рис. 1 приведена диаграмма патентования способов проектирования и конструирования устройств на основе модульности в машиностроении.

Как видно из диаграммы, самый большой процент использования модульности относится к тяжёлому машиностроению, в частности наиболее значимую долю имеют: железнодорожное, сельскохозяйственное, энергетическое машиностроение, космическая промышленность и судостроение. В меньшей степени модульный принцип проектирования задействован в среднем и точном машиностроении. Там можно выделить автомобильную промышленность, станкостроение, робототехнику, радиотехническую и электронную продукцию.

По результатам поиска за десять лет было выявлено 48 российских патентов,

Рис. 1. Количество патентов по модульности оборудования в машиностроении.

Рис. 2. Динамика патентной активности в России по годам.

относящихся к исследуемой теме и отвечающих ключевым параметрам. На рис. 2 представлена диаграмма, иллюстрирующая динамику отечественного патентования.

Из диаграммы следует, что пик активности в данной области приходится на 2007–2010 годы. В настоящее время изобретательская деятельность также начинает заметно активизироваться.

МОДУЛЬНОСТЬ В ЛОКОМОТИВОСТРОЕНИИ

На фоне широкого применения блочно-модульного проектирования агрегатов и систем на различных транспортных средствах, не стало исключением и локомотивостроение. Известные зарубежные компании создают тяговый подвижной состав на базе унифицированных платформ [1, с. 45].

Модульная конструкция локомотива — это быстроразъемные каркасы, внутри которых компактно установлено оборудование одного назначения. Локомотив содержит отдельные, индивидуальные базы с вложенными в них модулями. Далее модули komponуют в секции, располагаемые определенным образом в машинном отделении и предназначенные для выполнения четко определенной группы основных и вспомогательных (обслуживающих) операций.

При установке модулей извне должны быть предусмотрены люки с направляющими заходными фасками и конусными поверхностями, обеспечивающими беспрепятственный, спокойный ход сочленяющихся частей при стыковке быстроразъемных соединений и самих модулей с базой. Для центровки модулей при их стыковке с базой используются технологи-

ческие оправки, подвески и другая сопутствующая оснастка.

В России опытное проектирование модульных локомотивов начали практиковать с 2004–2005 годов. Пионером в использовании модульных конструкторско-технологических решений является Коломенский машиностроительный завод с его пассажирским тепловозом ТЭП70БС и грузовым аналогом — двухсекционным 2ТЭ70¹. Опыт развивается, и завод уверенно переходит к проектированию, строительству и обслуживанию модульных локомотивов.

Сегодня, в соответствии со стратегией совершенствования поршневых двигателей и автономных локомотивов, следует координировать участие всех разработчиков комплектующих элементов для основных и обеспечивающих модулей. Нужно коренным образом менять существующую устаревшую концепцию проектирования локомотивов, уделяя ключевое внимание компонентам модулей и унификации их комплектующих. В коррекции нуждается вся философия проектирования и создания модулей, которая призвана учитывать все возможные риски и организационные опасности при модернизации производства.

Безусловно, стандартные размеры сборочных единиц при этом должны быть заданы не однозначно, а в виде параметрического ряда, устанавливающего габариты секций и блоков для локомотивов разных конструкций и назначения. Например, для тепловозов с цельнонесущим закрытым кузовом и ферменно-раскосной системой каркаса монтаж и демонтаж модулей сбоку

¹ [Электронный ресурс]: <http://kolomna.supportix.ru/about/history/2005–2010>.

Рис. 3. Основные модули вспомогательных систем дизеля.

Рис. 4. Момент установки модуля топливной системы в тепловоз.

затруднён треугольными раскосами (цельнонесущий закрытый кузов имели и имеют действующие и опытные тепловозы: ТЭП70БС, 2ТЭ121, ТЭ136, 2ТЭ126, ТЭ127, ТЭП75).

Проще решаются вопросы проектирования на локомотивах с несущими, главными рамами и продольными хребтовыми балками. В этом случае закрытый кузов, представляющий собой систему из рамы и боковых стенок, легко можно разбить на окна-ячейки, через которые загружаются

модули вспомогательного оборудования дизеля.

В сочетании с агрегатированием механизмов и оборудования локомотивосборочное производство должно превратиться в отдельное блочно-модульно-монтажное. И почти всё оборудование будет монтироваться в виде агрегатов при сборке модулей. Соответственно в модулях полностью выполняются трубопроводные и электромонтажные работы с выводом на стыковочные мультисоеди-

Таблица 1

Пит-стоп «Формулы-1»	Пит-стоп локомотива

Сообщение о пит-стопе <ul style="list-style-type: none">• По радиосвязи проходит информация пилоту о готовности принять машину на пит-стоп.• Второй вариант: сам гонщик сообщает команде, что требуется оперативный, внеплановый заезд на пит-стоп.	Сообщение о пит-стопе <ul style="list-style-type: none">• В соответствии с графиком движения поездов проходит информация о готовности принять локомотив на плановый пит-стоп.• Бортовая диагностика выявила предельное, предаварийное состояние оборудования локомотива, требующее внеплановый пит-стоп.
Подготовка к пит-стопу <ul style="list-style-type: none">• Бригада обслуживания выходит с двух сторон на пит-лейн с необходимым оборудованием.• Гонщик сворачивает на пит-лейн и с пониженной скоростью следует на оборудованное и обозначенное место.	Подготовка к пит-стопу <ul style="list-style-type: none">• Проходит ожидаемая информация о точном времени прибытия локомотива на пит-лейн.• В соответствии с регламентом подготавливаются логистические юнит-модули или отдельные элементы — микромодули в модуле.• Роботы-манипуляторы проходят оперативное тестирование на соответствие выполняемой работе.
Остановка на пит-лейне <ul style="list-style-type: none">• Все внешние операции обслуживающей бригады запрещены до момента полной остановки болида.• Задача пилота — остановиться максимально точно в отведённом пространстве.• При остановке следует ориентироваться либо на механика, держащего подъёмник передней части болида, либо на механика, который держит руку так, что при правильной остановке середина передней шины будет точно под его рукой.	Остановка на пит-лейне <ul style="list-style-type: none">• Все операции запрещены до момента полной остановки и закрепления локомотива.• Локомотивная бригада выключает и обесточивает все системы локомотива (глушит дизель, отключает аккумуляторную батарею и др.) в соответствии с принятым регламентом.• Включение приводов роботов-манипуляторов выполняется только после выхода бригады из зоны обслуживания локомотива.• Контроль за перемещением людей выполняют датчики присутствия в зоне обслуживания.

нительные платы с быстроразъёмными соединениями.

Для исключения непредвиденных случаев и нестыковок монтажные операции в модулях должны быть промоделированы в 3D-пакете с оптимизацией основных координатных процедур, что позволит уже на первой стадии проектирования найти все несоответствия в технологии монтажа и разработать корректирующие планы.

После сборки модули поступают на проверочные стенды, с помощью которых можно убедиться в работоспособности смонтированного оборудования, для чего эти стенды имитируют алгоритм функционирования дизеля и других систем тепловоза.

Компонуется модули обеспечения работы дизель-генератора, холодильной и высоковольтной камер, вентиляторов

охлаждения оборудования, мотор-компрессора, аккумуляторной батареи, песочных бункеров и т.п.

На локомотивах целесообразно использование функциональных модулей, основу которых составляет известное оборудование (механическое, тепло-, гидро- и электротехническое, микропроцессорное и электронное и др.) [2, с. 15–16; 3, с. 34].

Можно выделить и установить шесть основных модулей обеспечения дизель-генератора (рис. 3): смазки — 1, воздухоподготовки — 2, газовыпуска — 3, охлаждения дизеля — 4, охлаждения электрических машин — 5, топливной системы — 6.

По своему функциональному направлению модули делятся на стандартные и оригинальные, а также на управляющие и исполнительные.

Таблица 1 (окончание)

Работа над машиной	Работа над локомотивом
<ul style="list-style-type: none"> • Два механика, спереди и сзади, поднимают болид. • Рядом с каждым колесом находятся по три механика: один забирает снятое колесо, другой подаёт колесо из свежего комплекта, а третий непосредственно снимает и надевает колесо. Закрепив новое колесо, механик поднимает руку, сигнализируя об окончании работы. Обычно при согласованных действиях механиков замена резины занимает 2,5–3 секунды. • После окончания работ по замене колёс подъёмники опускают машину на дорогу. • Ещё два механика оперативно прочищают с двух сторон воздухозаборники болида. • Один механик протирает забрало шлема гонщика. • Механики также выполняют и другие операции, как то: заправка бака топливом, изменение угла атаки антикрыльев, снятие датчиком характеристик шин и так далее. Ещё один механик стоит с переносным стартером на случай, если мотор болида неожиданно заглохнет. 	<ul style="list-style-type: none"> • По сигналу сирены в зоне РСМТ начинают работу роботы-манипуляторы. • Работа выполняется параллельно несколькими манипуляторами. • Манипулятор-заправщик № 1 подсоединяет шланг к горловине топливного бака, второй шланг – к горловине картера дизеля, третий шланг к расширительному баку модуля системы охлаждения. • Манипулятор № 2 обеспечивает замену модуля топливной системы или элемента этой системы. • Манипулятор № 3 работает с модулем системы смазки или с элементами этого модуля. • Манипулятор № 4 производит необходимые замены модуля системы охлаждения или элементов этого модуля. • Манипулятор № 5 обеспечивает замену модуля высоковольтной камеры. • Манипуляторы № 6 и № 7 производят работы с модулями песочных бункеров по торцам кабины и кузова. • Манипулятор № 8 обеспечивает регламентные замены модулей мотор-компрессоров, систем воздухоподготовки и газовойпуска дизеля, а также контролирует экипажную часть и другие модули вспомогательных систем (аккумуляторные батареи, оборудование кабины и др.). • При выходе из строя манипуляторов (от одного до семи) все регламентные работы могут выполнять последовательно оставшиеся манипуляторы с соответствующим увеличением продолжительности нахождения локомотива на пит-стопе. • Обычно при согласованной нормальной работе по регламенту замена модулей с последующей диагностикой занимает 2,5–6 минут (без времени, затрачиваемого на экипировку).
Готовность машины.	Готовность локомотива
<ul style="list-style-type: none"> • Ответственность за выпуск болида на трассу несёт старший механик группы. Как только этот человек убедился в том, что все работы над машиной завершены, никто не находится на пути её движения и по пит-лейн вблизи боксов не проезжает, он поднимает шток с табличкой, выпуская гонщика с пит-стопа. 	<ul style="list-style-type: none"> • После окончания работы производится габаритное позиционирование роботов-манипуляторов и отключение их приводов. • Диагностируются все системы в установленных модулях локомотива. • По окончании диагностики и после получения разрешающего сигнала производится автоматический пуск дизеля и диагностируется его работа на холостом ходу. • Производится безреостатная настройка тяговой передачи. • Выполняется секвенция аппаратов и силовых цепей. • Поступает сигнал об окончании сервис-модульного обслуживания локомотива и следует вызов локомотивной бригады.

СОЗДАНИЕ РОБОТИЗИРОВАННОЙ СЕРВИС-МОДУЛЬНОЙ ТОЧКИ (РСМТ)

Последовательность её разработки такова: анализируется и уточняется функциональное наполнение РСМТ, определяются конструкторская и исполнительская базы, комплектуется информационная база, в том числе группы датчиков – инфракрасные, передвижения, прикосновения и т.д. Из существующей номенклатуры выбирается комплекс управления системами и путевыми роботами [4, с. 37; 5, с. 30].

По необходимости априори учитывается совместимость систем и баз по функционально-иерархическим признакам с другими автоматизированными системами, в том числе применяемыми в родственных

отраслях. По возможности используются проверенные типовые, серийные устройства с едиными элементными группами.

Переход на систему обслуживания модульных локомотивов предусматривает взаимодействие РСМТ с новой структурой – сервис-модульным центром (СМЦ).

За любой брак, выявляемый на всём протяжении цикла функционирования юнит-модулей, СМЦ будет нести ответственность, поэтому прогнозируется высокое качество обслуживания и ремонта модулей на подведомственной территории центра.

Компоновка модулей в машинном отделении должна предусматривать лёгкий

доступ к ним как снаружи (со всех сторон и сверху локомотива), так и изнутри, а также по возможности обеспечивать лёгкую их замену при минимальных затратах времени и энергии.

На рис. 4 для примера показан момент установки модуля топливной системы в тепловоз [6, с. 145; 7, с. 5; 8, с. 1].

ОСОБЕННОСТИ ОПЕРАЦИЙ ОПЕРАТИВНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НА МОДУЛЬНОЙ ОСНОВЕ

Для наглядности приведено сравнение основных процессов, выполняемых на пит-стопах болидов «Формулы 1» и предлагаемых РСМТ на локомотивах (таблица 1) [9, 10].

ВЫВОДЫ

Модульная конструкция локомотива позволяет:

- снизить эксплуатационные и ремонтные затраты при работе локомотивов на различных полигонах и в различных условиях;
- уменьшить затраты на ТО и ТР в эксплуатации;
- унифицировать модули основных и вспомогательных систем для различных типов и серий локомотивов;
- повысить все показатели надёжности, безотказности и ремонтпригодности комплектующего оборудования в модулях, продлить срок службы локомотива;
- снизить непредсказуемость человеческого фактора при выполнении операций ТО и ТР;
- использовать методы диагностики оборудования модулей на качественно новых принципах;
- сократить цикл межпоездного обслуживания локомотивов, обеспечив замену модулей в течение нескольких минут на сервис-модульных точках [1, с. 48];
- обеспечить логистические программы оперативной транспортировки модулей между сервис-модульными центрами и сервис-модульными точками;
- придать машинному отделению эстетический и эргономичный вид, обеспечить установку всех агрегатов, трубопроводов

и отдельных деталей в пределах габаритов модулей;

- внедрить новые концепции манипуляторов, установленных в сервис-модульных точках, освоить полностью безлюдные технологии;
- гарантировать высокий коэффициент технической готовности локомотивов;
- использовать прогрессивные конструкторские и технологические решения для унификации локомотивов с ориентацией на потребности заказчика.

Локомотивы, созданные по принципу модульности, будут иметь высокую надёжность, технологичность и унификацию, что даст возможность реализовать со временем многие инновационные технические решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балабин В. Н., Брагин А. В. Сервис-модульные центры — новая философия эксплуатации и обслуживания модульных локомотивов // Современные наукоемкие технологии. — 2014. — № 4. — С. 44–48.
2. Балабин В. Н. Совершенствование компоновки и привода оборудования системы охлаждения дизелей тепловозов // Сб. статей по итогам Международной научно-практической конференции. 04 февраля 2018 г., Челябинск–Стерлитамак. — 2018. — С. 15–18.
3. Балабин В. Н. Концепция модульной компоновки вспомогательного оборудования локомотива // Локомотив. — 2015. — № 3. — С. 34–36.
4. Балабин В. Н. Роботизированные технологические комплексы — новое направление в эксплуатации и обслуживании локомотивов // Локомотив. — 2015. — № 5. — С. 36–38.
5. Балабин В. Н. Сервис-модульные центры — философия будущего обслуживания модульных локомотивов // Локомотив. — 2015. — № 4. — С. 28–30.
6. Балабин В. Н., Калугин С. П., Брагин А. В. Юнит-модульная компоновка основного оборудования — новая философия конструирования локомотивов // Наука молодых: сборник материалов международной научной конференции. Москва, 19–20 ноября 2015 г. — М.: Рус Альянс Сова, 2015. — С. 144–150.
7. Шугаев А. С. Локомотивы из «конструктора» // Гудок. — 2006. — 25 июля. — С. 5.
8. Брексон В. В., Ляйтель М., Неустроев П. П., Голоднов А. Н. Патент на полезную модель № 109442. Модульная компоновка оборудования в кузове локомотива. Класс В61С17. Общество с ограниченной ответственностью «Уральские локомотивы» (RU).
9. Бригада. Зачем для пит-стопа «Формулы-1» нужны 22 человека? [Электронный ресурс]: <https://motor.ru/lab/pitstop.htm>. Доступ 14.01.2019.
10. Анатомия пит-стопа. [Электронный ресурс]: <http://kartclub.info/2012-08-31-10-38-25/3151-anatomija-pit-stopa>. Доступ 14.01.2019.

Координаты авторов: Некрасов Г. И. — andestendik@mail.ru, Балабин В. Н. — vbbn2347@gmail.com.

Статья поступила в редакцию 23.12.2018, принята к публикации 04.02.2019.