

«ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК» ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА – ОСНОВА ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИИ В УСЛОВИЯХ КЖЦ

В данной статье рассмотрены возможности применения элементов цифровой трансформации для управления этапами жизненного цикла пассажирского вагона. Рассмотрены основные программные системы, используемые для учета состояния пассажирского подвижного состава. Разработана основа принципа построения цифровизации процесса жизненного цикла пассажирского подвижного состава для реализации ее подходов в поэлементные этапы цикла.

Ключевые слова: этап жизненного цикла, цифровизация, «цифровой двойник», пассажирский вагон, надежность, безотказность

EDN: WWSGO



М.Ю. Куликов



А.С. Шинкарук

На протяжении последнего десятилетия промышленный комплекс все больше задается вопросом эффективности использования сложных технических объектов. Все четче и четче формируется объективное мнение о необходимости создания «цифровых копий» различных процессов — от формирования технического задания до утилизации объекта. Вопросам в данном направлении посвящены работы различных ученых в областях машиностроения, автомобилестроения, а также в авиационной, морской и железнодорожной отраслях [1;2;8;10;12].

Цифровой прорыв и систематизация жизненного цикла объекта открывает новые возможности по обработке больших цифровых данных (Big Date), формированию наработки сложных технических объектов на отказ, моделированию изменения прочностных элементов объекта в зависимости от характера и агрес-

сивности его использования, минимизируя, а порой исключая проведение разрушающих, длительных или многоцикловых нагрузочных испытаний и изготовление многочисленных опытных образцов объектов. В научных работах также изложены аргументы о важности цифровизации отдельных стадий жизненного цикла объекта, в первую очередь проектирования и эксплуатации и структуры, полноты и качества накопления его элементной базы [2;9;10].

В научных публикациях делается обзор применяемых систем по автоматизации процессов, в которых, как правило, заложены идентичные корни системного построения этапов прохождения объектом его жизненного цикла (рис. 1).

Таким образом, цифровизация объекта становится, по сути, фиксацией прохождения им определенных циклов, которые в зависимости от условий на каждом

Куликов Михаил Юрьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: транспортное машиностроение, технология производства и ремонта подвижного состава, металлорежущие станки и инструменты. Автор более 80 научных работ, в том числе двух монографий.

Шинкарук Андрей Сергеевич, кандидат технических наук, главный ревизор по безопасности движения поездов Акционерного общества «Федеральная пассажирская компания». Область научных интересов: безопасность движения, повышение продолжительности жизненного цикла пассажирского вагона, хребтовые балки, жизненный цикл подвижного состава. Автор более 10 научных работ.

Куликов Юрий Михайлович, аспирант кафедры «Технологии транспортного машиностроения и ремонта подвижного состава» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: безопасность движения, пассивная безопасность подвижного состава, тормозные системы, автосцепные и сцепные устройства.



Рис. 1. Основные этапы жизненного цикла объекта отрасли

этапе требуют своей системы анализа и сбора цифровой информации [8].

В различных научных публикациях делаются обзоры следующим системам проектирования объектов, которое перешло на цифровую платформу с использованием систем проектирования с применением компьютера (Computer Aided Design, далее — CAD). Так, к наиболее распространенным системам можно отнести программы AutoCAD, nanoCAD (отечественные аналоги системы AutoCAD, позволяющие производить проектировку элементной базы и объекта в целом как в двумерной, так и в трехмерной среде). С помощью данных программ можно строить 3D-модели, создавать и оформлять чертежи и др. Наибольшее распространение данные системы получили в строительной и машиностроительной промышленности [1;2;10].

Однако для машиностроительной отрасли также важно и необходимо моделировать элементную базу с использованием конечно-элементных систем. Применяемые системы с конечно-элементным анализом охватывают практически все сферы инженерных расчетов: колебания, устойчивость, динамику (в том числе гидро- и аэродинамику), прочность и т.д. Наиболее широкое применение в вагоностроении получил цифровой комплекс SCADoffice. Благодаря применению вышеуказанных информационных технологий удалось добиться следующих положительных факторов — ускорения периода внедрения нового изделия в производство сам готовый продукт становится более качественным и надежным, что повышает

его конкурентоспособность и увеличивает срок его полезного использования.

Наряду с применением вышеуказанных систем, также существуют научные труды [5–7;10;11;13], показывающие необходимость совершенствования современных цифровых технологий, используемых в различных промышленных отраслях. Так, для развития системы управления жизненным циклом объекта необходимо при проектировании, а затем и производстве создавать оптимальные условия для его наиболее загруженных элементов. При использовании данного принципа можно добиться существенного повышения эксплуатационных характеристик объекта. На этапе формирования технического задания на изготовление объекта, конструкторами, при проектировании, необходимо разрабатывать пооперационную технологическую карту его последующего обслуживания и ремонта с обязательным учетом таких основных условий, как климат и среда использования, интенсивность, нагруженность и т.д.

Эти вопросы решаются по мере совершенствования, обновления, модернизации, а также создания новых информационных баз и библиотек. Совершенствование данного направления подчеркивает необходимость обеспечить постоянную связь между проектировщиком, конструктором, заказчиком, технологом и потребителем техники на ранней стадии проектирования или модернизации объекта.

В научных публикациях также отмечается, что главной идеей четвертой промышленной революции

является создание производств с комплексным подходом использования и внедрения цифровых технологий, в том числе с применением цифрового проектирования и моделирования не только объектов, но и самих производственных процессов, благодаря которым, в значительной степени, возрастают показатели эффективности, надежности и достигается высокий качественный показатель самого производства.

Значительные изменения в производственной области, которые стали эффективно влиять на производственный процесс — это расширение в использовании 3D-принтеров, автоматизированных поточных линий с использованием роботов, а также станков с числовым программным управлением (ЧПУ), которые в оптимальном сочетании снимают проблему габаритной расстановки оборудования, а также благодаря качественной механической обработке элементов решают вопросы точности.

Цель данной работы — рассмотрение применяемых информационных систем, поддерживающих этапы жизненного цикла различных объектов, разработка модифицированного «цифрового двойника» пассажирского вагона с учетом совершенствования существующих цифровых алгоритмов и основных преимуществ блокчейн-технологий, позволяющая гибко управлять жизненным циклом пассажирского вагона.

Новизна, методы исследования

Для достижения поставленной задачи рассмотрены ранее используемые в различных отраслях цифровые технологии, проанализированы их особенности и возможности адаптации существующих алгоритмов в цифровизацию процессов интегрировав их в систему технического обслуживания и ремонта пассажирского вагона на всем эксплуатационном этапе жизненного цикла пассажирского вагона.

Следует отметить, что наиболее значительное развитие применения цифровизации процесса проектирования объектов и производства в целом получило в машиностроительной отрасли, в других же отраслях развитие существует, но, к сожалению, не такое эффективное и в основном находится на этапе становления, однако в среднесрочной перспективе получит стремительное развитие.

При анализе научных работ можно сделать вывод, что применение блокчейн-технологий в построении «цифровых двойников» является очень перспективным, но достаточно малоизученным направлением. Вместе с тем, ряд ученых считает, что блокчейн-технологии повышают «безопасность хранения данных, анонимность, подотчетность, снимают возможность отслеживания и улучшают ряд других важных

цифровых факторов», а также открывают новые перспективы и возможности в реализации основных предпосылок, заложенных в задачах четвертой промышленной революции, а также создают фундамент для повышения результативности, надежности и устойчивости использования «цифровых портретов» производства.

Наряду с этим, одним из показателей эффективности по праву можно назвать и экономию затрат в процессе эксплуатации, а также путем повышения качества разрабатываемого изделия выполнении работ на отдельных стадиях жизненного цикла.

Также преимуществом данных систем перед аналогами является так называемая распределенная база данных, в которой содержатся такие показатели как надежность изделия, стоимость, необходимая материально-техническая база, качество и др.

К основным недостаткам данной системы можно отнести значительный объем материальных затрат на внедрение и ее применение, снижение анонимности при выполнении операций, кроме того доступность большого круга пользователей создает риск осуществления несогласованных, а порой и незаконных операций в системе. Следовательно, отдельные достоинства блокчейн-технологий делают их и уязвимыми в совокупности с различными трудностями.

К другому недостатку также необходимо отнести то, что при фиксации в полуавтоматизированных системах (в случаях, когда данные заносит оператор) на отдельных этапах и в самих этапах жизненного цикла изделия (например, при эксплуатации объекта) для формирования «цифровых следов» могут быть вовлечены несколько организаций, некоторые из которых, не стремятся раскрывать свою информацию или искажают ее. В этом случае формирование полной и объективной базы «цифрового двойника» объекта будет очень затруднительна или даже невозможна. Это необходимо учитывать.

Таким образом, анализ применения блокчейн-технологий показал, что они должны, с одной стороны, сопровождать все виды цифровых технологий на каждом этапе жизненного цикла объекта, с другой, это утверждение является тождественным только с теоретической стороны. Каким образом данные технологии можно реализовать на практике на современном уровне, четкого понимания, к сожалению, нет.

Модифицированные блокчейн-технологии нашли широкое применение в образовательной, медицинской, банковской, а также других сферах экономики. Они должны быть основаны на технологическом, алгоритмическом, экономическом и организационном выборе соответствующей информации, а также трансформации в цифровую среду управления жизненным

циклом с учетом индивидуальных особенностей и показателей производимой продукции.

Являясь частью машиностроительной отрасли, вагоностроители выпускают широкий модельный ряд вагонов и, естественно, этапы жизненного цикла различных моделей, обусловлены функциональным назначением и фактическим их использованием, которые, в основном, отличаются между собой. Необходимо отметить, что этапы инжиниринговых циклов при внедрении новых моделей подвижного состава или по результатам проведения ему капитально-восстановительного ремонта, напрямую влияют на условное количество заложенных этапов для каждой модели вагона.

Таким образом, по результатам анализа используемого подвижного состава составлена модифицированная схема жизненного цикла вагона, а также его «цифрового двойника» (рис. 2). Как мы видим на рис. 2, он соответствует классической и современной концепции жизненного цикла изделия.

Классической фазой жизненного цикла понимается концепция «Product Life Cycle» (PLM, Жизненный цикл товара), изложенная Отто Клеппером в 1931 году, который утверждал, что большинство продуктов проходит через стадии: «новаторства», «конкуренции» и «в памяти» [3]. Под современной понимается концепция «Product Life Cycle», описанная в 1965 году Теодором Левиттом, который ввел понятие «Жизненный цикл товара» для повышения конкурентоспособности [4].

Часто в различных исследованиях рассматривают от четырех до шести стадий жизненного цикла изде-

лия, однако это не означает, что некоторые циклы, представленные на рис. 2, не учитываются. В данных исследованиях, как правило, этапы объединяются, например — маркетинговые исследования и формирование технического задания; изготовление и проведение испытаний, в том числе для некоторых изделий целесообразно рассматривать укрупненные этапы жизненного цикла.

Сущность и необходимость формирования «цифрового двойника»

При рассмотрении укрупненных стадий жизненного цикла вагона (см. рис. 2) в виде отдельных папок сформированы наиболее распространенные его этапы (формирование технического задания, изготовление пассажирского вагона на вагоностроительном заводе, эксплуатация, ремонт и техническое обслуживание в условиях структурного предприятия - собственника вагона, ремонт вагона в условиях вагоноремонтного завода, а также его утилизация (списание)).

При рассмотрении данных этапов следует, что помимо использования блокчейн-технологий в накоплении цифровой базы пассажирского вагона задействованы различные организации. Так, при формировании технического задания, проведения ремонта вагона в условиях структурного предприятия-собственника вагонов, а также утилизации, внесением информации в «цифровую базу» занимается сам владелец подвижного состава, а этапы жизненного цикла такие как изготовление вагона на вагоностроительном заводе (данный этап также необходимо дополнить проектированием и испытаниями изделия, что для вагона



Рис. 2. Схема жизненного цикла пассажирского вагона и его «цифрового двойника»

является существенным), а также ремонт вагона на вагоноремонтном заводе, без дополнительной проработки условий передачи данных и формирования цифровой базы невозможны; аналогичная ситуация происходит на эксплуатационном этапе, где необходимо ремонтировать отдельные узлы или элементы изделия в специализированных организациях.

Вместе с этим при реализации условий передачи информации в полном объеме и формировании «цифрового двойника» вагона, структурная блокчейн-схема жизненного цикла объекта сформируется следующим образом (рис. 3).

Как представлено на рис. 3, формирование «цифрового двойника» пассажирского вагона осуществляется с наполнением шести основных элементных электронных баз. Так, электронные базы БД 1 и БД 2 ведутся изготовителем подвижного состава, электронные базы БД 3 и БД 4 ведутся собственником подвижного состава совместно с привлеченным им организациями, работающими на договорной основе (ремонт отдельных видов оборудования),

БД 5 ведется вагоноремонтными заводами, а БД 6 собственником подвижного состава.

Таким образом, объективное формирование «цифрового двойника» пассажирского вагона в существующей архитектуре довольно проблематично по причине отсутствия заинтересованности всех участников производственного процесса раскрывать полностью информацию об объекте.

Исключение данных рисков возможно как заключением отдельных соглашений о предоставлении соответствующей полной «цифровой информации» на этапах БД 1 – БД 5; данный механизм, в первую очередь, будет интересен собственнику подвижного состава, который

будет понимать структуру затрат на содержание подвижного состава. Вторым решением является ведение всего цикла одной организацией, как правило, изготовителем подвижного состава, на протяжении всего жизненного цикла объекта. В данном случае уже изготовитель будет заинтересован в наиболее эффективном использовании подвижного состава. Именно производитель будет заинтересован в обеспечении надежности, долговечности, оптимальных финансовых вложений в объект, а также в оперативности устранения конструкционных просчетов, выявляемых при эксплуатации подвижного состава, в том числе и при постгарантийном обслуживании и исключения их при постройке нового подвижного состава.

Выводы

1. Внедрение блокчейн-технологий для формирования «цифрового двойника» позволит более эффективно и гибко управлять каждой стадией жизненного цикла пассажирского вагона.

2. Использование «цифрового двойника» пассажирского вагона позволяет более эффективно удерживать ресурс элементной базы вагона, а также управлять его надежностью и качеством.

3. Внедрение «цифрового двойника» пассажирского вагона позволяет изменить существующую систему технического обслуживания и ремонта подвижного состава от планово-предупредительной к гибридной с учетом ремонта отдельных узлов и деталей подвижного состава по состоянию.

4. Результаты исследования будут использованы для совершенствования системы ремонта и технического обслуживания пассажирского подвижного состава.

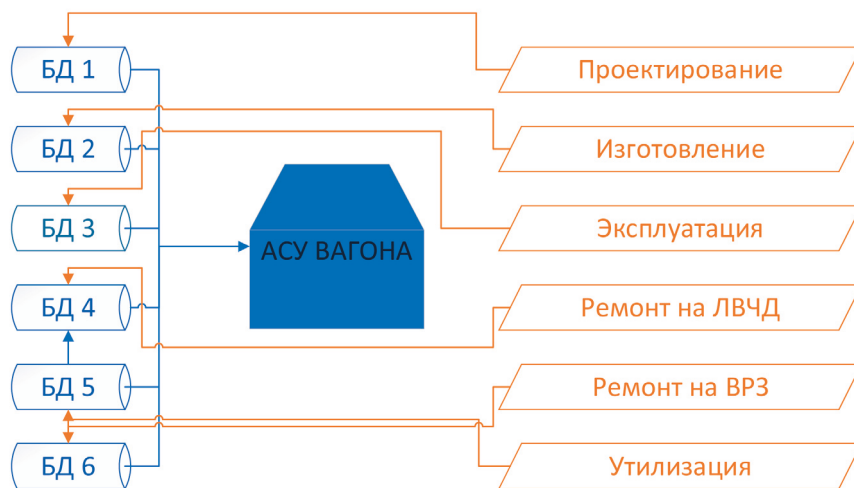


Рис. 3. Схема интеграции процессов в «цифровой двойник» вагона

Литература

1. Arrigo, U. & Di Foggia, G. (2014). Theoretical and viable charging models for railway infrastructure access. European survey management research and practice, 6(2), 5 - 24.
2. Fourth Annual Market Monitoring Report. IRG-Rail, 2016, <http://www.ircg-rail.eu/public-documents>.
3. Kleppner Otto. Advertising Procedure. - New York: Prentice Hall Inc., 1931.
4. Levitt Theodore. Exploit the Product Life Cycle. - Harvard Business Review. - HBR, 1965. - Vol 43, November-December, 1965. - С. 81 - 84.
5. Report from the commission to the council and the European Parliament: Fourth Report to the Council and the European Parliament on monitoring development of the rail market. European Commission, Brussels, 2014. <http://ec.europa.eu/transport/modes/rail/market/doc/swd>.
6. Statistique internationale des Chemins de Fer. UIC-Centre de Statistique, Paris, 2010.
7. Wetzel. H. (2008). European Railway Deregulation: The Influence of Regulatory and Environmental Conditions on Efficiency. Working Paper Series in Economics, 86. http://www.uni-lueneburg.de/fb2/vwl/papers/wp_86_Upload.pdf. (05.11.2016).
8. Гридюшко, В. И. Вагонное хозяйство : учебное пособие для вузов железнодорожного транспорта / В. И. Гридюшко, В. П. Бугаев, Н. З. Криворучко ; Под ред. В. И. Гридюшко, Ю. С. Подшивалова. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Транспорт, 1988. - 295 с. - Текст : непосредственный.
9. Лакин, И. К. Использование технологии «цифровой двойник» при управлении ремонтом локомотивов / И. К. Лакин, А. П. Семенов. - Текст : непосредственный // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2019. - Т. 63, №3. - С. 89 - 98. - DOI: 10.26731/1813-9108.2019.3(63).
10. Лакин, И. К. Проблемы внедрения информационных технологий в локомотивных депо / И. К. Лакин, И. В. Пустовой. - Текст : непосредственный // Локомотив. - 2017. - № 2 (722). - С. 11 - 13.
11. Лакин, И. К. Эффективность сервисного обслуживания локомотивов / И. К. Лакин, И. В. Пустовой. - Текст : непосредственный // Техника железных дорог. - 2017. - № 2(38). - С. 34 - 44.
12. Паспорт национальной программы «Цифровая экономика Российской Федерации». Утвержден президиумом Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол от 24 декабря 2018 г. №16) [сайт] : [www. http://static.government.ru/media/files/urKHm0gTPPnzJlaKw3M-5cNLo6gczMkPF.pdf](http://static.government.ru/media/files/urKHm0gTPPnzJlaKw3M-5cNLo6gczMkPF.pdf) (дата обращения : 21.12.2019). - Текст : электронный.
13. Пустовой, И. В. Разработка информационно-динамической модели управления сервисным техническим обслуживанием и ремонтом локомотивов : специальность 05.02.22 «Организация производства (по отраслям)» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Пустовой Илья Владимирович. - Место защиты : Ур. гос. ун-т путей сообщ. - Омск, 2018. - 181 с. - Текст : непосредственный.