

## ИНЖЕНЕРНЫЕ СЕРВИСЫ «ЦИТМ ЭКСПОНЕНТА»

### ***Гарантия эффективного использования инструментов MathWorks уже на первом проекте***

#### **Курирование модельно ориентированного проектирования**

*Формат взаимодействия с большими командами, включающий передачу накопленной экспертизы МОП, которая проверена на реальных проектах предприятий СНГ. Среднее сокращение срока разработки в 3 раза по сравнению с проектами без применения МОП. Данный формат взаимодействия можно рассматривать как гарантию эффективного вложения средств в покупку MATLAB/Simulink.*

Поскольку продукты MATLAB/Simulink имеют большую популярность как в мире, так и в странах СНГ, одним из наиболее часто используемых методов внедрения является самостоятельное изучение инструментов, переноса практики из языков программирования общего назначения, и используя русскоязычную литературу, написанную порядка 10 лет назад. Хотя такой подход и приносит результаты, но при этом нельзя говорить о сокращении времени разработки в несколько раз на предприятии.

Гораздо более эффективным способом внедрения является прохождение специализированных тренингов, разработанных компанией MathWorks и проводимые в России инженерами «ЦИТМ Экспонента», это порядка 30 тренингов или 60 дней с темами по моделированию, генерации кода и верификации. Далее применяя полученные умения на реальных проектах, при этом периодически консультируясь с экспертами, инженер в течение времени от одного до двух лет проникается идеей модельно-ориентированного проектирования и начинает наиболее эффективно использовать инструменты MathWorks. Кстати, обычно такой путь проходят инженеры в ЦИТМ Экспонента. Далее новый эксперт обычно передает знания другим членам команды.

И все же, наиболее эффективным способом внедрения является наем хорошего эксперта в команду с целью сокращения сроков разработки в несколько раз **уже на первом проекте**.

В задачу такого эксперта МОП входит проведение всей команды разработчиков по этапам модельно ориентированного проектирования, передавая экспертизу, предотвращая типичные ошибки, и решая такие задачи как: организация командной работы, разработка адекватных моделей, управление кодом оставшемся в наследство, передача навыков генерации оптимального кода из моделей, оптимизация моделей и предоставление обратной связи по корректности следования процессам МОП.

Ниже представлены типичные услуги, которые мы можем осуществить в рамках внедрения модельно ориентированного проектирования.

#### **1. Разработка стенда главного конструктора**

*Цитата:*

*«У нас ТЗ пишется после разработки прототипа»*

При построении сложных технических систем есть проблема написания технического задания на начальных стадиях разработки. По сути, техническое задание пишется после испытаний прототипа, изготовление которого – долгая и дорогостоящая задача. Решением этой проблемы может быть разработка системной модели, которую мы называем «стенд главного конструктора». Как эксперты в области моделирования, мы можем взять на себя задачу разработки стенда, при этом мы проводим встречи с различными отделами, участвующими в разработке, собираем данные эскизного проектирования и на основе этой информации строим стенд, который в последствии поможет главному конструктору в отработке вариантов решений, выявление «белых пятен» в техническом задании и его реализуемости, послужит началом для построения более детализированных моделей. Как показывает практика, построение такого стенда помогает сократить количество итераций проектирования, осуществить более качественную проработку решений и обнаружить до 90% несоответствий в техническом задании на начальном этапе разработки, что в конечном итоге отражается в значительном снижении стоимости проектирования.

#### **2. Построение функционально адекватных моделей**

*Цитаты:*

*«На модели работает, в реальности нет».*

*«У нас очень сложный/большой/мощный/навороченный объект, его не получится смоделировать в Simulink/Simscape».*

Построение адекватных моделей требует достаточно серьезной экспертизы как в доскональном знании инструмента моделирования, так и в опыте построения моделей подобных систем. Инженеры ЦИТМ Экспонента имеют многолетний опыт моделирования и являются частью международной команды инженеров MathWorks. Мы имеем доступ как к закрытому архиву моделей различных технических систем, так и непосредственно к экспертам по моделированию из других стран и разработчикам MathWorks. Это позволяет нам еще до начала проекта корректно оценить и **уверенно гарантировать Вам построение адекватных моделей** по техническому заданию, которые позволят отловить большое количество ошибок до реализации системы «в железе».

### 3. Сопровождение проекта на территории заказчика

*Цитата:*

*«Мы проходили обучение по MATLAB, умеем настраивать многомерные нечеткие регуляторы, однако неясно, что такое векторизация и что такое Variant Subsystem».*

Тесно работая с несколькими компаниями над проектами, мы заметили, что есть неочевидная проблема, когда инженеры хотят проходить сложные тренинги, пропустив базовые, сославшись на то, что это простые темы для них. Такой подход нарушает целостность картины и мешает эффективно решать задачи. Другим наблюдением является то, что в команде за время работы над проектом накапливается список нерешенных проблем по использованию инструментов или же есть незамеченные пользователями, но очевидные для нас, проблемы, которые тормозят разработку. Присутствие нашего инженера в проекте позволит выявить и решить подобные проблемы, быстро отвечая на вопросы разного уровня сложности.

### 4. Ускорение не оптимально построенных моделей

*Цитата:*

*«Симуляцию надо ждать день, как такое отлаживать?».*

При построении сложной модели часто встает проблема скорости моделирования. Для решения этой проблемы, на основе разработанной Вами модели, мы можем помочь оптимизировать модели, выбрать степень детализации компонентов модели, а также применить техники параллельного выполнения с использованием многоядерных процессоров, GPU и FPGA.

### 5. Перевод в переиспользуемую форму и интеграция предыдущих наработок при переходе на модельно ориентированное проектирование

*Цитата:*

*«Есть уже много наработок на C/C++/FORTRAN, не сначала же все переделывать».*

Код оставленный в наследство может как упрощать жизнь, так и значительно усложнять и ограничивать перспективы и возможности разработки. Наследуемый исходный код можно интегрировать в системную модель, разработанную в MATLAB/Simulink, что позволяет использовать наработки предыдущих проектов. Однако, в ряде случаев необходимо воссоздать наследуемый код в виде модели MATLAB/Simulink. Например, когда необходимо перевести алгоритм в целочисленную арифметику, сгенерировать HDL код из него, или необходима дальнейшая сертификация кода. Для принятия решения об интеграции или переписывании кода в виде модели необходимо экспертное знание инструментов моделирования, а также опыт организации прямого наследования, организации косимуляции в случае HDL кода, навыки быстрого моделирования с обеспечением численной эквивалентности и многое другое. Все вопросы наследования при переходе на современный процесс разработки мы возьмем на себя на экспертном уровне. Это означает, что на ранних стадиях, мы поможем Вам выбрать адекватный объем наработок, требующих перевод в модели, и организуем или возьмем на себя работы по их миграции в MATLAB/Simulink.

### 6. Получение оптимального embedded кода (HDL, C) из скриптов MATLAB

*Цитаты:*

*«Есть алгоритм, написанный на MATLAB, но из него нельзя сгенерировать код».*

*«Сгенерированный код не оптимален по скорости и/или ресурсам».*

Высокоуровневый язык MATLAB дает свободу программирования, однако не все его конструкции хорошо переносятся на аппаратуру, например, использование циклов со сложной структурой, как правило, дает не самую эффективную реализацию при переносе алгоритма на FPGA. В этом случае, чтобы получить эффективный код следует переделать структуру алгоритма. На нескольких пилотных проектах с разработчиками российских компаний мы показали, что при использовании правильных настроек генератора кода и оптимизируя структуру алгоритма, **мы можем получать код, сравнимый по качеству с профессионально написанным кодом**. Мы поможем и вам получать код такого же качества.

## 7. Глубокая оптимизация при портировании алгоритмов на целевые платформы

*Цитата:*

*«У нас код, написанный программистом, с трудом влезает в кристалл, как мы сможем вместить сгенерированный код?».*

После долгого процесса разработки кода и еще более длительной отладки, код является чем-то неприкосновенным – «работает, требованиям удовлетворяет, и трогать не надо». Со временем система растет, что приводит к утилизации кристалла ПЛИС до 90% и выше, при этом, для работоспособности системы, приходится прибегать к оптимизации на уровне некоторых известных модулей, или «разводки кристалла вручную». Решением проблемы является гибкое изменение алгоритмов. Однако, поскольку нет системной модели, трудно сказать, как изменится поведение всей системы при радикальном изменении алгоритмов. Даже если изначально использовалось моделирование, то как правило, в результате отладки кода связь с моделью теряется, т.к. изменения не переносятся в модель. Мы обеспечиваем наладку бесшовного Модельно-Ориентированного Процесса разработки (МОП), при котором быстрый переход от модели к коду позволяет решать обозначенную проблему путем гибкого изменения алгоритмов, убеждаясь, что система продолжает удовлетворять требованиям. Опыт показывает, что такой процесс разработки отличается от общепринятой практики и на первых этапах должен контролироваться экспертом, ведь полно искушений отойти от него под давлением сроков. Мы **поможем следовать процессам разработки**, и при этом гарантируем эффективное выполнение даже первого совместного проекта с точки зрения сроков, качества и удовлетворения требований технического задания.

## 8. Организация командной работы

*Цитата:*

*«У нас каждый делает свою часть, не заботясь о системной модели»*

На предприятии процесс моделирования все начинают с разной степенью подготовки, у каждого вырабатывается свой стиль, и после перехода на новый уровень мастерства, как правило, руки не доходят до переделки того, что было сделано ранее. Настройка правил моделирования, таких как обязательное наименование сигналов, привязка требований к блокам, визуализация основных атрибутов блоков, проверка связей в библиотеке, и пр., позволит выровнять стиль моделирования и контролировать соответствие ему. Это в свою очередь будет способствовать легкому объединению моделей, их инспекции и повторному использованию. Приглашение эксперта в команду поможет наладить командную работу с моделями, внедрить и адаптировать стили моделирования, настроить интеграцию с системами контроля версий, а также автоматизировать документирование проекта в соответствии с требованиями предприятия.

## Ускоренная разработка по ТЗ с передачей экспертизы

*Данный процесс внедрения МОП хорошо подходит, когда в первую очередь необходима фокусировка на выполнении конкретного проекта, нежели на передачу экспертизы большой команде разработчиков. Это может быть, например, «горящий» проект, когда времени на выполнение почти не осталось.*

Мы выполняем совместный проект с 1-2 разработчиками от заказчика. Перед началом проекта мы делаем оценку трудозатрат выполнения проекта с применением МОП. Поскольку разработка идет преимущественно специалистами «ЦИТМ Экспоненты» мы можем гарантировать выполнение проекта в установленные сроки. При этом также идет передача опыта в процессе выполнения совместного проекта по средствам еженедельного общения с разработчиками от заказчика и поэтапной передачи проекта.

Ниже представлено несколько примеров выполненных совместных проектов.

## Реализация системы видеосвязи для ЛА на основе стандарта IEEE 802.11n для Концерна ВЕГА.

Разработан прототип устройства, являющегося частью высокоскоростной цифровой системы связи, предназначенной для передачи видеoinформации высокой четкости с движущихся объектов со скоростью до 300км/ч в условиях многолучевого распространения радиосигнала. Такие требования как пропускная способность не менее 34Мбит/с и высокая достоверность обеспечиваются использованием современных методов передачи данных, таких как мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов (OFDM), пространственное кодирование сигнала с несколькими антеннами (MIMO), а также помехоустойчивое кодирование с контролем четности низкой плотности (LDPC).

На момент заключения подрядного договора с ЦИТМ “Экспонента” над реализацией ТЗ “Разработка программного обеспечения физического уровня цифровой обработки сетеворентированной кроссплатформенной системы распределенной обработки и криптозащищенного обмена информацией» работало несколько инженеров заказчика в течение 20 месяцев. Заказчиком была поставлена задача максимально быстрой реализации ТЗ, т.к. заказчику было важно не допустить или снизить наметившуюся просрочку исполнения ГОЗ. Специалисты ЦИТМ “Экспонента” решили задачу менее чем за 4 месяца, что оказалось в 5 раз эффективнее ранее затраченных усилий Заказчика.

Результат был достигнут за счет применения ключевых технологий модельно-ориентированного проектирования, а именно:

- построение системной имитационной модели, на которой были найдены однозначные соответствия между требованиями к системе и используемыми алгоритмами для их выполнения;
- всесторонняя отладка алгоритмов на модели в различных условиях работы системы;
- автоматическая генерация HDL кода из полученных уточненных моделей.

*Интересный факт:* половина проекта разработана в Simulink, а половина в MATLAB, но поскольку это единая среда, — отладка производилась совместно, а HDL код получали и итеративно оптимизировали с помощью автоматического синтеза из целостного проекта. На MATLAB было удобнее реализовать и легче отладить LDPC кодер, по причине большого количества промежуточных данных, которые необходимо было сравнивать с имевшейся эталонной реализацией LDPC кодера на MATLAB. В ЦИТМ “Экспонента” имеется большое количество эталонных реализаций алгоритмов и стандартов связи. MIMO детектор был реализован в Simulink, т.к. в нем интенсивно использовались умножители (DSP48 в терминологии Xilinx), что требовало большую гибкость в вопросах оптимизации по ресурсам и скорости. Весь проект изначально не уместился на ПЛИС без оптимизации по совместному использованию умножителей (resource sharing), а без правильно настроенной конвейеризации не выдерживались критические скорости выполнения. За счет наличия системной модели, единой среды отладки и получения кода для всего проекта, были быстро найдены решения, обеспечившие полное соответствие поставленному ТЗ в кратчайшие сроки.

Реализованы и сданы следующие функции:

- 86 000 строк отлаженного оптимизированного HDL кода
- OFDM модуляция
- LDPC кодер и декодер (один из самых эффективных на сегодня с т.з. помехозащищенности)
- Банки PSK и QAM демодуляторов с мягким решением
- MIMO детектор на два канала
- Поддержка варьированной ширины канала – 5-40 МГц
- Схемы синхронизации
- Интерфейсы с Ethernet каналом
- Все это уместили в ПЛИС Zynq-7035.

Время разработки и документирования составило менее 4х месяцев. По сравнению с 20ю месяцами, затраченными Заказчиком на реализацию данного ТЗ, реализация ТЗ заняла в 5 раз меньше времени, несмотря на то, что на проекте было задействовано вдвое меньше инженеров ЦИТМ “Экспонента”. Отличительным конкурентным преимуществом Центра Инженерных Технологий и Моделирования “Экспонента” является применение модельно-ориентированного проектирования, которое значительно облегчило управление сложностью проекта и нахождение верных конструкторских решений.

*Интересный факт:* есть популярная методика подсчитывающая количество строк кода, которое программист может писать в день. Хотя там говорится о 20-80 строк кода в день, даже если оптимистично взять более высокую оценку в 100 строк кода в день, то получится, что применяемые нами технологии МОП повысили нашу эффективность в этом проекте в 10 раз по сравнению с «оптимистически завышенным средним».

### **Подсистема радиолокационного распознавания для БПЛА для КБ Радар (г. Минск)**

Подсистема радиолокационного распознавания — это высокочастотное широкополосное радиоустройство. Сложности данного проекта в КБ РАДАР были обусловлены более глубоким, нежели изначально ожидалось, взаимодействием модулей в подсистемах высокочастотной аппаратной обработки сигналов, реализуемых в ПЛИС на HDL и на С. На момент обращения в Центр Инженерных Технологий и Моделирования “Экспонента” проект длился полгода с использованием классических методов разработки. Поскольку для КБ РАДАР было критично сдать проект в установленные сроки, специалисты решили подстраховать основную ветвь разработки, инициировав совместный проект с инженерами ЦИТМ “Экспонента”.

Для данного проекта специалистами ЦИТМ Экспонента было использовано несколько приемов из методологии модельно-ориентированного проектирования сложных технических систем.

1. Системная модель изделия. Построив целостную системную модель, включающую в себя как РЧ так ЦОС блоки, инженеры Экспоненты улучшили архитектуру подсистемы разведки. Системная модель показала, что совместное использование каналов для амплитудного детектирования и цифровой обработки сигнала даст прирост в отношении сигнал/шум в 2дБ, а замена отдельной микросхемы амплитудного детектора с передачей её функций блоку ЦОС позволит исключить её из схемы, что повысит надежность системы и сократит количество компонентов.
2. Реализация модуля поддержки целевой платы (Target Support Package). Для ускорения проекта и возможности более легкого применения различных автоматизаций (автоматический синтез кода, сборки и заливки проекта HDL и С, верификации “ПЛИС в контуре” и т.п) были разработаны драйверы и создан пакет поддержки всей периферии целевой платы. Это позволило значительно ускорить проект на этапе реализации двух частей проекта — в Си (оптимизированном для ARM ядра), и в HDL.
3. Реализация оптимизированных алгоритмов на HDL и С для Zynq-7000 с использованием автоматического синтеза кода и верификации. Модуль, реализованный на С, получили с помощью генератора кода Embedded Coder, который расширили блоками драйверов к периферии Zynq. Широкополосный сигнал требовалось обрабатывать на ПЛИС с частотой 125 МГц. Чтобы обеспечить такую пропускную способность на ПЛИС настроили конвейеризацию алгоритмов с помощью HDL Coder. Сгенерированный код алгоритма автоматизировано оборачивался интерфейсами AXI и AXI-Stream, что позволило легко встроить их в общий проект Vivado. Взаимодействие между подсистемами ПЛИС и ARM реализовали по интерфейсу AXI-Stream через модуль DMA, поддержка драйвера которого есть в Embedded Coder. Так как сгенерированный HDL код «до такта» и «до бита» соответствовал модели, все алгоритмы ПЛИС, а также их взаимодействие с модулем, реализованном на С для ядра ARM, отлаживались на моделях, а не на коде. Это радикально сократило количество багов, сроки и трудозатраты на верификацию

Главный результат совместного проекта — ветвь разработки, предложенная ЦИТМ Экспонента, стала основной ветвью проекта в КБ Радар, а время разработки по сравнению с ранее использованным классическим подходом сократилось в три раза. Этап работ по изделию сдан в срок и позволил расширить географию сбыта изделия КБ Радар. Группа инженеров КБ РАДАР частично переняли методы ускоренного проектирования ЦИТМ Экспонента (Модельно-Ориентированное Проектирование).

## Технологические сервисы

*Разработка недостающего функционала MATLAB/Simulink. Вы получаете настроенный под свои задачи инструмент и не занимаетесь его улучшением.*

Типичные технологические сервисы это:

- Разработка пакета поддержки под платформу заказчика (процессор, микроконтроллер, DSP или ПЛИС) с поддержкой блоков драйверов и автоматизированному получению прошивки.
- Настройка генераторов отчетов с целью получения технической документации на русском языке по формату заказчика
- Интеграция MATLAB/Simulink с другими программными продуктами, например, с системами контроля версий или интеграция с CAD системами.
- Построение автоматизированных измерительных стендов.