Инициатива – развитие индустрии жидкого Водорода

Дмитрий Владимирович Коннов

Основатель Calibrations.ru, разработчик программного обеспечения Delphi

Konnov Software Development с 2012 года предоставляет высококачественные услуги по разработке программного обеспечения для своих ценных клиентов.

25+ лет опыта в разработке программного обеспечения для промышленной автоматизации, калибровки, AIM, MES, LIMS, SCADA, FIDS, CMMS, PCMS.

- Соавтор государственного патента Visinform3
- Соавтор премии Delphi26 ShowCase Challenge - "Syncovery"
- Автор публикации в журнале Blaize Pascal Magazine
- Член РОНКТД

Миссия и цели

План мероприятий "Развитие водородной энергетики в Российской Федерации до 2024 года" утвержден Правительством Российской Федерации.

- РАСПОРЯЖЕНИЕ
  от 12 октября 2020 г. N 2634-р подписанное Председателем Правительства РФ, М.Мишустиным

Российская Федерация обладает серьезным потенциалом в области водородной энергетики, а именно близостью к рынкам сбыта водорода в Европе и Азиатско-Тихоокеанском регионе, ресурсной базой (запасы природного газа, нефти, угля, незагруженные мощности по производству электроэнергии), и научным заделом в сфере производства, транспортировки и хранения водорода.

Моя работа в области промышленной автоматизации может произвести революцию в энергетической и аэрокосмической промышленности, что

приведет к значительным достижениям в **области возобновляемых и устойчивых видов топлива** и **управления криогенными жидкостями.**

Я предлагаю создать облачный **промышленный программный комплекс для инженерных расчетов, контроля рисков, механической целостности, неразрушающего контроля (NDT) и управления жидкостями.** Этот проект будет сосредоточен на технологиях **возобновляемых и устойчивых видов топлива** и **управления криогенными жидкостями**, которые имеют решающее значение для развития экономики Российской Федерации.

Рис 1. Институт лазерных и сварочных технологий освоил титановые сосуды с давлением 500 Бар.

Предлагаемый программный комплекс будет предназначен для управления и принятия решений в области технической надежности предприятий, на основе планирования работ по техническому обслуживанию и ремонту оборудования, работающего под давлением (рис. 1, рис. 2), на основе оценки рисков, исходя из их фактического состояния.

Рис 2. Запорные устройства, работающие под давлением

Пользователями программы являются системные аналитики, метрологи и лица, принимающие решения в области обслуживания и эксплуатации оборудования, работающего под давлением, такого как газонаполненные установки, резервуары и трубопроводы, используемые для транспортировки и хранения аэрокосмических и нефтеперерабатывающих жидкостей.

Введение в LH2 (Liquid Hydrogen)

Для производства 1 кг H_2 требуется 4 кг метана. Для получения 1 кг H_2 методом пиролиза требуется ~18,4 МДж. Теплотворная способность водорода ~121 МДж/кг. Эффективность прямого преобразования водорода в электричество в топливном элементе составляет ~85%.

Энергетический эффект H_2: (121–18,4) x 0,85 = 87,2 МДж;

Что, если мы просто сожжем 4 кг метана (сколько именно метана нужно для производства 1 кг H_2)? Теплотворная способность метана ~63 МДж/кг. Интегральный КПД энергосистемы для преобразования в электроэнергию составляет ~24%. Энергетический эффект CH4: 63x4 x 0,24 = 60,5 МДж;

Все конечные потребители, для которых может быть создан сосуд на 1000 атм (рис. 1). будет использовать сжатый водород. С экономической точки зрения это оптимальное решение.

Вывод – получение водорода из природного газа и преобразование его в электричество в топливном элементе несравнимо выгоднее, чем сжигание природного газа в турбине или паровом котле.

Целевой рынок

Целевым рынком для предлагаемого программного обеспечения является широкий спектр предприятий нефтеперерабатывающего и аэрокосмического сектора, занимающихся производством и транспортировкой жидких энергоносителей, в частности жидкого водорода. Охват потребностей в технологиях, известных как водородные **топливные элементы** и **управление криогенными жидкостями.**

- **Водородный топливный элемент**

Водородные топливные элементы производят электричество, объединяя атомы водорода и кислорода. Водород вступает в реакцию с кислородом через электрохимическую ячейку, похожую на батарею, с образованием электричества, воды и небольшого количества тепла.

Например: 80-литровый сосуд может аккумулировать энергию ~1000 МДж. Электромобиль на топливном элементе на такой заправке проедет ~800 км. И с рекуперацией энергии на 1200 км.

Почти весь водород, потребляемый в Российской Федерации, используется промышленностью для переработки нефти, обработки металлов, производства удобрений и других химикатов, а также для обработки продуктов питания. Нефтеперерабатывающие заводы используют водород для снижения содержания серы в топливе. Производители биотоплива также используют водород для производства гидроочищенного растительного масла (HVO) для использования в качестве возобновляемого дизельного топлива.

Анализ рынка

Я провел обширное исследование мирового рынка водорода, используя такие агентства, как:

GMI Global Market Insights https://www.gminsights.com.

AMR Allied Market Research https://www.alliedmarketresearch.com

По данным GMI (см. рис. 3), объем рынка водорода в 2022 году превысил 183 млрд долларов США и, как ожидается, увеличится на 317 млрд долларов США

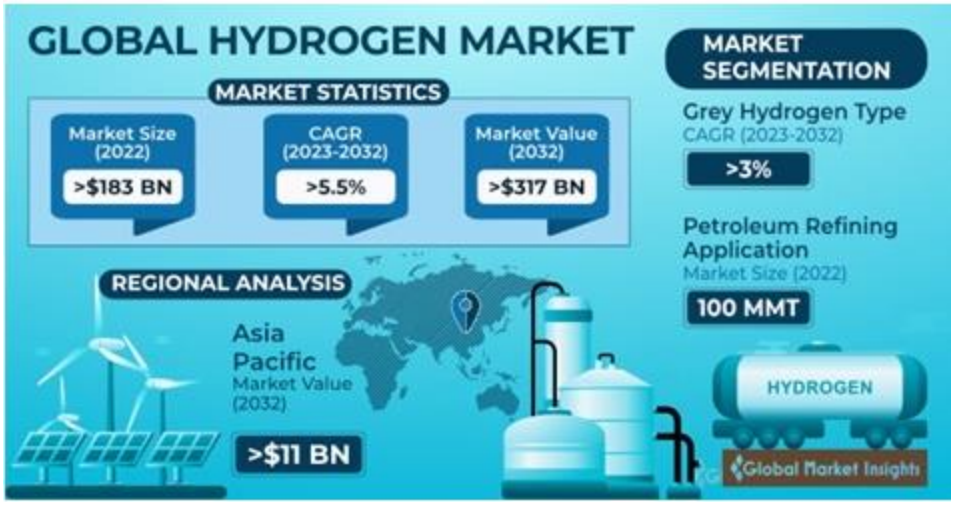

Рис 3. Аналитический отчет о мировом рынке водорода

Рынок жидкого водорода быстро растет, совокупный годовой темп роста (CARG) составляет 5,5%, что указывает на высокий спрос на оборудование для транспортировки и хранения водорода.

По данным AMR, сегмент криогенных резервуаров доминировал на мировом рынке в 2022 году и, как ожидается, будет расти со среднегодовым темпом роста 5,6% в течение прогнозируемого периода. Криогенные резервуары необходимы для хранения и транспортировки сжиженных газов, таких как жидкий водород, жидкий кислород и сжиженный природный газ (СПГ). По мере расширения различных отраслей промышленности растет спрос на криогенные резервуары для поддержки секторов хранения и транспортировки. Кроме того, резервуары используются при хранении и транспортировке жидкого водорода, который завоевал популярность как более чистая альтернатива традиционному ископаемому топливу. С ростом спроса на природный газ в качестве источника энергии, особенно в производстве и транспортировке электроэнергии, соответственно растет спрос на криогенные резервуары для поддержки инфраструктуры, необходимой для хранения и распределения жидкого водорода. Прогнозируется, что этот фактор будет способствовать росту рынка в течение прогнозируемого периода.

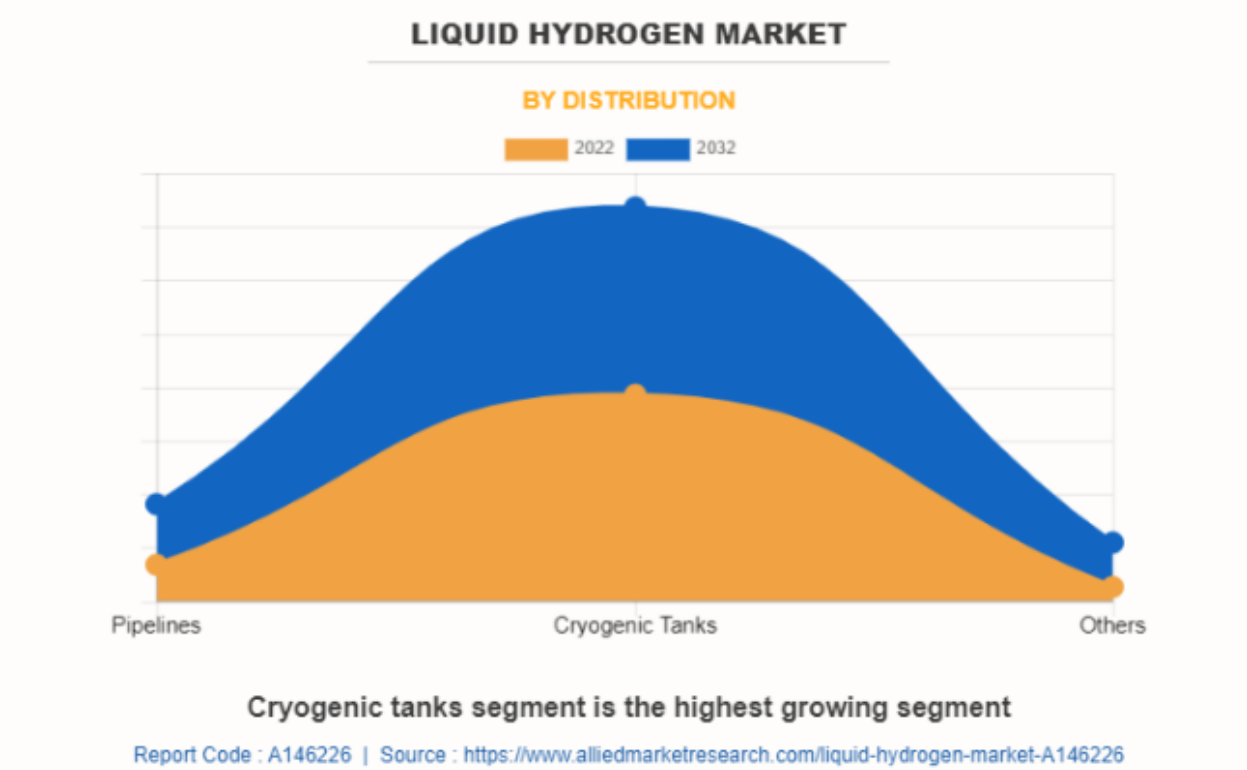

Fig 4. Исследование Allied Market Research по Криогенным резервуарам

На графике мы видим, что к 2032 году производство криогенных резервуаров и трубопроводов увеличится как минимум в два раза.

Для поддержания состояния криогенного и другого трубопроводного оборудования необходим программный слой системы по ее текущему состоянию (толщине), управлению рисками, связанными с утечками, авариями, транспортировкой, а также инженерным расчетам, необходимым для контроля расхода жидкости.

Рост отрасли водородных топливных элементов невозможен без наличия специализированного программного обеспечения, предназначенного для контроля толщины, управления эксплуатационными рисками, управления жидкостями и интеграции с услугами неразрушающего контроля (НК), поэтому предоставление такого программного обеспечения по существу является задачей государственной важности.

<u>Мой проект будет ориентирован на аэрокосмическую отрасль</u>

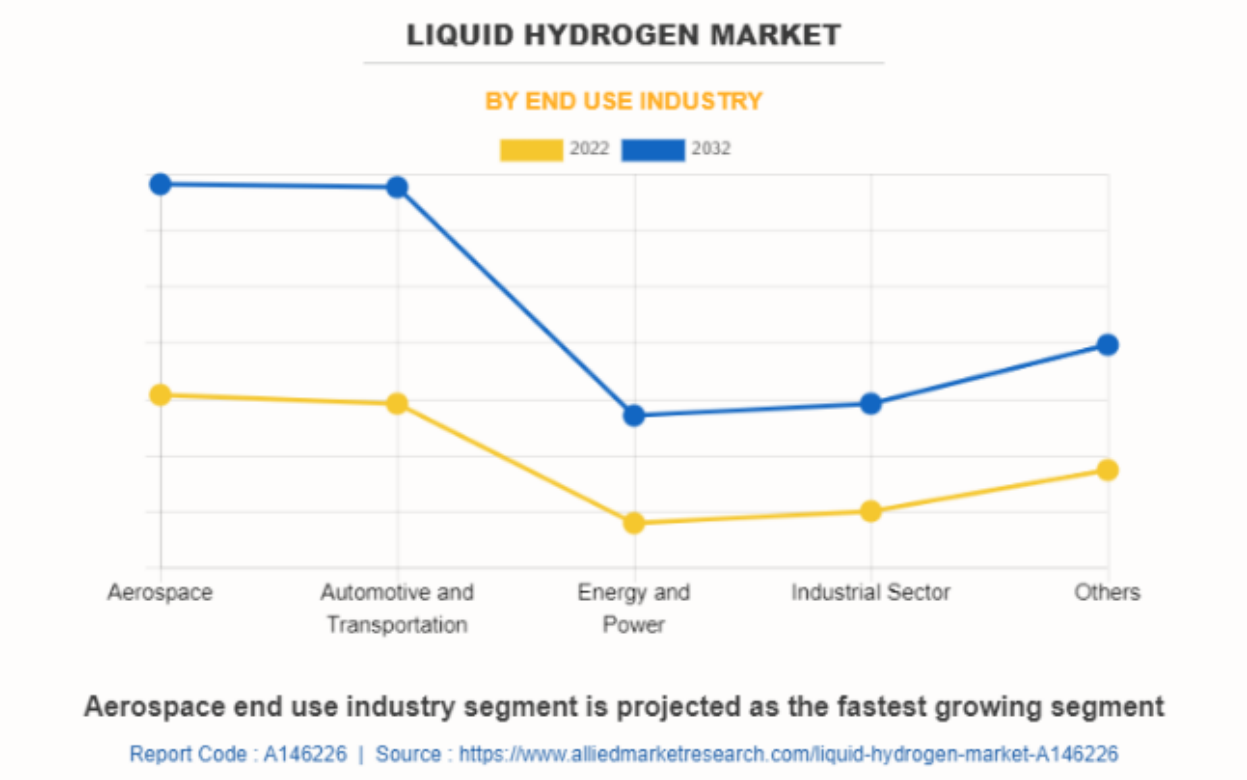

Fig 4. Исследование Allied Market Research по отраслям промышленности

В 2022 году аэрокосмический сегмент был крупнейшим источником дохода и, как ожидается, будет расти со среднегодовым темпом роста 5,7% в течение прогнозируемого периода. Жидкий водород обладает высоким удельным импульсом, который является мерой эффективности ракетного двигателя. Он обеспечивает большую тягу на единицу топлива по сравнению с другими видами топлива, что позволяет развивать более высокие скорости и полезную нагрузку. Высокий удельный импульс жидкого водорода делает его предпочтительным выбором для достижения высоких требований к производительности космических миссий. Кроме того, аэрокосмическая промышленность уделяет особое внимание снижению воздействия аэрокосмической отрасли на окружающую среду и переходу к более устойчивым методам работы. Жидкий водород является чистым топливом, он сжигает кислород и имеет тенденцию производить водяной пар. Его использование в качестве топлива значительно снижает выбросы парниковых

газов по сравнению с традиционными силовыми установками, работающими на ископаемом топливе.

<u>Необходимость создания прикладного программного обеспечения для LH2</u>

Оборудование для хранения и транспортировки жидкого водорода - это оборудование, которое подвергается коррозии металла и работает под давлением. Соответственно, для нормальной работы данного оборудования обязательным условием является поддержание данной инфраструктуры в безопасном, рабочем состоянии. В связи с этим возникла необходимость разработки этого специального программного обеспечения для контроля толщины, управления эксплуатационными рисками, управления жидкостями и интеграции с услугами неразрушающего контроля (НК).

- **Создание рабочих мест**

Поскольку рост инфраструктуры в секторе водородных топливных элементов сам по себе приведет к созданию дополнительных рабочих мест для специалистов по неразрушающему контролю и метрологии, которые непосредственно работают с оборудованием, для обеспечения общей физической безопасности и принятия решений в этой области потребуются аналитики более высокого уровня, работа которых будет напрямую связана с анализом данных и работой с программой. что я и предлагаю. Таким образом, программа, которую я предлагаю, создаст рабочие места для аналитиков, которые принимают решения в этом секторе.

- **Устойчивое экономическое развитие**

Количество таких рабочих мест к 2032 году пропорционально удвоится по сравнению с существующим, в компаниях этого сектора сегодня оно удвоится. Однако стоит отметить, что, в первую очередь, повышение надежности работы оборудования в этой отрасли, предлагаемое моей программой, является залогом роста самой отрасли. Другими словами, рост сектора водородных топливных элементов невозможен без правильного программного обеспечения.

Потенциальные клиенты моего программного обеспечения

В Российской Федерации несколько крупных компаний занимаются производством и потреблением сжиженного водорода. Вот некоторые из них:

- **“Газпром”**: Планирует начать производство “чистого” водорода в 2024 году
- **“Росатом”**: Также задействован в производстве водорода, с планами на запуск пилотных установок в 2024 году
- **НОВАТЭК:** Упоминается в контексте возможного производства водорода
- **En+**: Собирается организовать крупномасштабное производство водорода и рассматривает строительство новых ГЭС для этих целей
- **Криогенмаш**: Входит в группу Газпромбанка и стал членом всемирного Водородного совета

Эти компании играют ключевую роль в развитии водородной энергетики в России и могут способствовать увеличению производства и использования сжиженного водорода в стране.

Особенности будущего программного обеспечения

Конечной целью программного обеспечения является расчет **Общих Финансовых Затрат** на конкретный проект управления жидкостями для принятия бизнес-решений.

Для статического наземного оборудования основной методологией риск-ориентированного планирования, широко используемой на нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводах по всему миру, является методология RBI (Risk Based Inspections), разработанная Американским институтом нефти (API) и изложенная в стандартах API-571, API-580 и API-581. Эта практика применяется к сосудам под давлением, трубопроводам и резервуарам, а также к предохранительным клапанам.

По данной методике будет оценена вероятность выхода из строя оборудования и последствия этого отказа, определена величина риска как их продукт, и на основе величины риска будет сделан прогноз на будущее. Оценка вероятности

аварии основывается на статистических показателях, учитывающих специфические особенности и состояние оборудования, а также эффективность обследований. Технические осмотры считаются мероприятиями, которые подтверждают надежность оборудования с определенной точностью.

Для правильного составления планов обследования оборудования и оценки результатов обследования требуется огромное количество данных. Программное обеспечение позволит предприятиям в аэрокосмической сфере собирать, анализировать, систематизировать и документировать информацию, необходимую для поддержания работоспособности оборудования и предотвращения аварий и утечек.

Прототипом системы такого класса (рис. 5) является хорошо известная система управления состоянием установок – PCMS, получившая широкую известность в перерабатывающей промышленности [1] продвигаемый компанией ДИАПАК.

Программное обеспечение станет логическим продолжением проекта PCMS, в рамках которого уже распространяются существующие и внедренные на практике подходы и методологии оценки рисков, распространяя их на аэрокосмический сектор. При этом новое программное обеспечение, в отличие от предшественника, будет использовать облачные технологии и искусственный интеллект в полной мере.

Программное обеспечение консолидирует и систематизирует все оборудование и результаты обследований (проектные данные оборудования, рабочие параметры, чертежи, документацию, историю обследований, ремонты, отчеты и планы обследований) и разместит все это в одной доступной и удобной для пользователя облачной системе.

Программное обеспечение автоматически создаст планы будущих обследований на основе 3 принципов планирования технического обслуживания:

- на основе фиксированных интервалов съемки (традиционный подход)
- на основе расчетов скорости коррозии и оценки остаточного ресурса
- на основе оценки рисков (RBI)

Программное обеспечение будет представлять собой облачную базу данных (Cloud DB), которая записывает, а затем анализирует данные инспекций оборудования, определяет скорость коррозии, даты последующих проверок, сроки вывода из эксплуатации, а также выявляет подозрительные участки, требующие дополнительных обследований.

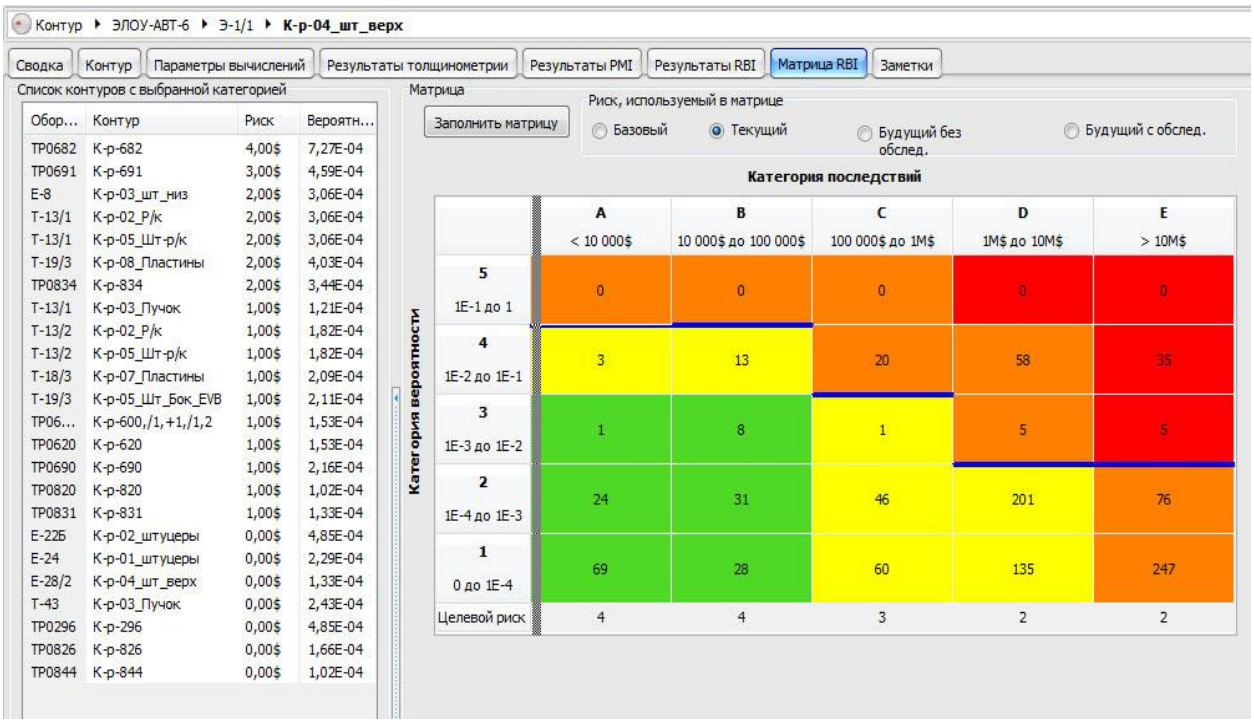

Рис 5. Модуль риск-ориентированного контроля PCMS

Одним из важнейших компонентов будущей системы является **Калькулятор скорости выпуска,** инструмент, позволяющий оценить расход физических жидкостей в бочках, литрах или кг3/сек с учетом таких параметров, как тип жидкости, температура, давление, размер отверстия, время выпуска и другие физические параметры. Большинство известных реализаций таких инструментов являются частью настольного программного обеспечения и имеют такие недостатки, как отсутствие интеграции возможностей, масштабируемости и зависимости от платформы. Это программный инструмент, реализующий расчеты на основе предоставленных математических формул, входных параметров, переменных и констант. Переменные, в свою очередь, могут зависеть от других переменных, констант или формул. Движок глубоко интегрирован с реляционной базой данных, а

сочетание его с искусственным интеллектом и облачными вычислениями сделает его работу более гибкой и глобально доступной.

Предназначение будущего программного обеспечения – расчет, но не только. Также программное обеспечение поможет определиться по следующим направлениям:

- Стоимость ремонта
- Повреждение окружающего оборудования
- Время простоя, необходимое для ремонта окружающего оборудования
- Стоимость перерыва в производственной деятельности
- Затраты на очистку окружающей среды
- Общие финансовые затраты

Новизна будущего продукта

Будущий проект будет реализован полностью облачно, предлагая клиентам модель SaaS-платформы (Software as a Service).

Будущий проект будет продвигать методологию API 581 Risk Based Inspection и стандарты ASME, реализованные в программном обеспечении PCMS в аэрокосмической отрасли, которая еще не охвачена PCMS.

Будущий проект предложит программный слой для мобильных клиентов благодаря универсальности стека технологий REST.

Облачный сервис Engineering Calculator будет разработан и построен с библиотекой Firemonkey на RAD Studio 12 Delphi, что позволит развернуть его на 64-битных системах Linux, таких как Ubuntu 22.04, что, в свою очередь, позволит снизить стоимость владения для клиентов.

В качестве СУБД хранения данных выбрана Пост-Реляционная, Объектно-Ориентированная база данных Cache от Intersystems.

Какие навыки необходимы для успеха в проекте?

Моя биография, Достижения на сегодняшний день

У меня 25+ лет опыта работы в сфере программирования с акцентом на промышленную автоматизацию. Для достижения этой цели я буду использовать свой обширный опыт в области PCMS (программное

обеспечение для управления состоянием оборудования завода), AIM (управление контрольно-измерительными приборами), LIMS (система управления лабораторной информацией), FIDS (система отображения полетной информации), ASAC (автоматизированная система аналитического контроля), SCADA (диспетчерское управление и сбор данных) и облачные технологии из проекта Syncovery

Мой самый сильный навык в программировании - это знание и опыт реализации многоуровневых или промежуточных сервисов с использованием TCP/IP Socket, технологии REST/SOAP для связи с клиентским программным обеспечением, что в свою очередь требует знаний многопоточного программирования и знаний реляционных баз данных, которыми я владею на самом высоком уровне. Программное обеспечение, разработанное мной, работает на тысячах компьютеров по всей стране в режиме 24/7 без моей поддержки в течение многих лет.

У меня есть опыт программирования подобных инструментов для промышленных десктопных приложений в реальных коммерчески распространяемых продуктах. Основные моменты проделанной работы:

- Калькулятор скорости выпуска в PCMS
- Менеджер спецификаций в IndysoftClient
- Конвертер единиц измерения в IndysoftClient
- Использование технологии REST в проекте Syncovery

Весь вышеперечисленный опыт необходим для формирования нового продукта для инженерных расчетов.

Социально-экономические последствия

Это конкретное предприятие может повлиять на более широкую сферу. Программный комплекс позволит предприятиям широкого спектра в нефтеперерабатывающем, энергетическом и аэрокосмическом секторах, обслуживающим свое промышленное механическое оборудование, использовать единый стандарт (API 581), базу данных и алгоритм расчета расхода жидкостей и газов (fluids), управления толщинометрами, данными в области неразрушающего контроля (NDT) **в масштабах** всей страны, что, в свою очередь, повысит скорость и согласованность делового взаимодействия,

совместимость подходов в оценке рисков и в конечном итоге повысит **надежность космической и энергетической отрасли страны**. Поскольку почти каждый бизнес, зависящий от космоса, приносит такие преимущества, как ГЛОНАЗ, телекоммуникации, медицинские исследования и т.д. Таким образом, каждый бизнес в Российской Федерации получит выгоду от моего проекта. Также будущее программное обеспечение неизбежно приведет к **созданию рабочих мест** в сфере производственной аналитики.

С уважением,

Дмитрий Владимирович Коннов

Ссылки

1. Ржевкин В.Р., Самохвалов А.Б., Шемякин В.В. PCMS – программное обеспечение для управления состоянием производственного оборудования на основе оценки рисков // В мире НК. 2012. No 1 (55).