

*Никогда не теряй терпения – это последний ключ, отпирающий двери.*

Антуан де Сент-Экзюпери

3. Время автономной работы конечных устройств в основном зависит от частоты передачи информации. В случае необходимости организации мониторинга с минимальным временем опроса требуется организация постоянного сетевого питания.

4. Расчет стоимости внедрения автоматизированных систем в каждом случае зависит от различных факторов, таких как конъюнктура рынка, стоимость работ, технических требований к системе, а также характеристик самого объекта автоматизации. Оборудование для беспроводных систем, как правило, по стоимости выше, чем для проводных систем, так как включает помимо измерительных датчиков дополнительно приемо-передающие устройства. В случае проводных систем необходимо также учитывать затраты на проводные линии связи и работы по их организации.

5. Система мониторинга температуры и влажности в контрольных точках позволяет выявить реальное состояние технологического процесса хранения продукции в камерах холодильного склада. На основе полученных данных по температуре возможна разработка корректирующих мероприятий для выполнения требуемых температурных норм хранения продукции, таких как установка дополнительных мощностей охлаждения, установка вентиляторов, дополнительная теплоизоляция, выполнение регламентных работ по оттайке

холодильного оборудования для увеличения эффективности работы охлаждающих установок.

#### Список литературы

1. *Виноградов А.Н.* Применение распределенной системы управления в задачах автоматизации технологических процессов нефтебазы // Управление развитием крупномасштабных систем (MLSD'2018). Тр. XXI международной конференции. В 2-х томах. Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. 2018. С. 439-441.
2. *Виноградов А.Н.* Локальная автоматизация технологических процессов нефтебазы на примере битумного производства // Автоматизация в промышленности. 2023. № 10. С. 7-10.
3. *Виноградов А.Н., Волошин Е.В., Кузнецов Р.С.* Системы мониторинга и учета энергии на базе беспроводных технологий нового поколения // Автоматизация в промышленности. 2021. № 4. С. 12-16.
4. *Vinogradov A.N., Chipulis V.P.* Influence of indirect measurements on the account of general needs of hot water consumption // В сборнике: 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018. EN: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2019. С. 8602937.
5. *Vinogradov A.N.* Use of results of indirect measurements in problems of calculating total household consumption of hot water // Measurement Techniques. 2020. Т. 62. № 12. С. 1023-1028.
6. *Виноградов А.Н., Кузнецов Р.С., Чипулис В.П.* Информационно-аналитический центр по учету и регулированию энергоресурсов сложных технических объектов и инженерных систем приморского края // Вестник Дальневосточного отделения РАН. 2021. № 4 (218). С. 148-154.

*Виноградов Александр Николаевич* — канд. техн. наук, научный сотрудник ИАПУ ДВО РАН.  
E-mail: [vinogradov@dvo.ru](mailto:vinogradov@dvo.ru)

DOI: 10.25728/avtprom.2024.07.10

## ПРИМЕНЕНИЕ МАССОВОГО ИНЖИНИРИНГА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ ДИСПЕТЧЕРИЗАЦИИ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА

**В.В. Цветков (ООО НВФ «Сенсоры, Модули, Системы»)**

*Показана эффективность применения массового инжиниринга для построения систем диспетчерского управления магистральных нефтепроводов. Продемонстрированы реальные решения по конфигурированию базы данных, созданию экранных форм проекта, проведению тестирования и автоматизации пуско-наладочных работ при реализации проекта диспетчеризации трубопроводного транспорта для одной из организаций ПАО «Транснефть».*

*Ключевые слова: массовый инжиниринг, системы диспетчерского управления, магистральные нефтепроводы, виртуализация.*

В последние годы внимание исследователей в области промышленной автоматизации все чаще уделяется развитию методов массового инжиниринга. Массовый инжиниринг направлен на автоматизацию процессов проектирования и разработки, оптимизацию затрат. Такой подход позволяет упрощать и ускорять процесс настройки производства, делая его более гибким и адаптируемым к изменяющимся требованиям. Массовый инжиниринг подразумевает использование алгоритмов и программных решений, способных автоматически генерировать и оптимизировать параметры управления для большого чис-

ла производственных узлов, сокращая временные затраты на настройку систем. Применение такого подхода показывает значительное улучшение эффективности процессов разработки, поскольку способен обеспечить точность и повторяемость процессов благодаря соблюдению заданных параметров.

Массовый инжиниринг может рассматриваться, в том числе как одна из составляющих цифровизации производства, определенная как вектор развития промышленности нашей страны правительством РФ<sup>1</sup>. В результате процессов цифровизации и массового инжиниринга повышается

<sup>1</sup> Правительство РФ. Распоряжение «Об утверждении стратегического направления в области цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности», 2021. – 67 с.

эффективность информационных массивов, уменьшается использование трудовых ресурсов и автоматизируются ключевые производственные процессы. Это приводит к изменению жизненного цикла продукции, оптимизации затрат на её изготовление и повышению конкурентоспособности промышленных предприятий. Данный подход в полной мере относится и к АСУТП, внедряемым на производстве.

Массовый инжиниринг в контексте разработки прикладных проектов SCADA-систем – это процесс добавления, модификации или удаления большого числа параметров в разрабатываемом проекте за раз, что значительно упрощает и ускоряет процесс настройки и обновления системы. Это особенно актуально в больших проектах с тысячами или даже миллионами технологических параметров. Массовый инжиниринг является важным и актуальным подходом при разработке программного обеспечения крупных проектов АСУТП, поскольку позволяет существенно повысить эффективность, снизить стоимость и обеспечить безопасность производства. Актуальность использования массового инжиниринга при разработке программных продуктов для АСУТП заключается в следующем:

- ускорение разработки программного обеспечения с учётом технологических и функциональных требований;
- повышение гибкости и качества разработки, а значит, и качества конечной продукции;
- снижение стоимости разработки и повышение производительности инженера-разработчика благодаря автоматизации процессов разработки.

При реализации массового инжиниринга в разрабатываемом проекте SCADA-системы могут применяться различные подходы, включая:

- экспорт/импорт данных: экспорт существующей конфигурации в файл (часто в форматах XML или CSV), его последующее редактирование с использованием сторонних инструментов (таких как электронные таблицы) и импорт обратно в систему;
- специализированное ПО: некоторые SCADA-системы предоставляют специализированные инструменты дополнения для массового параметрирования;
- использование скриптов, программных модулей: написание сценариев (скриптов), которые автоматизируют процесс добавления или изменения параметров.

Зачастую, указанными способами можно автоматизировать процесс подготовки базы данных проекта. Но, например, нет возможности осуществить массовую подготовку мнемосхем или подготовить имитатор («цифровой двойник») для тестирования системы.

Отсутствие доступных инструментов для комплексного проектирования систем автоматизации и управления данными на всех этапах жизненного цикла, а также ограниченные возможности существующих стандартов в описании полного спектра необходимых функций для любого предприятия указывают на необходимость поиска методов и разработки единых решений. В ООО НВФ «СМС» таким решением становятся средства массовой параметризации АСУТП.



Рис. 1. Основные этапы разработки АСУТП

Разработка программной части АСУТП включает постоянные, повторяющиеся от проекта к проекту, этапы (рис. 1): проектирование, разработка проекта прикладного ПО (конфигурация базы данных, разработка экранных форм), тестирование, внедрение (пуско-наладка), а также обслуживание и, возможно, модернизация. Как минимум, часть этапов можно автоматизировать с использованием массовой параметризации. При этом, если для небольших проектов (например, автоматизация маслonaпорной установки на гидроэлектростанции) результат от широкого применения массового инжиниринга не так ощутим, то для разработки системы, содержащей более тысячи тегов (точек данных для связи с технологическим процессом) и более десятка мнемосхем (экранных форм), результат применения массового инжиниринга позволяет экономить ресурсы на каждом из этапов разработки проекта.

Продемонстрируем опыт применения массового инжиниринга на примере разработки проекта единой системы диспетчерского управления (ЕСДУ), осуществляющей контроль и управление технологическим оборудованием, выполняющим транспорт нефти и нефтепродуктов в АО «Транснефть-Прикамье».

АО «Транснефть-Прикамье» обеспечивает работу более 6 тыс. км магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов. В состав общества входят пять районных нефтепроводных управлений, 35 магистральных насосных станций. Но для разработчика проектов ЕСДУ АО «Транснефть-Прикамье» – это не только более 6 тыс. км трубопровода, в первую очередь это число параметров, элементов базы данных (БД), сообщений, архивов, экранных форм (ЭФ), которые используются для проекта. Отметим, что ЕСДУ построена на базе «Библиотеки СДКУ-Стандарт» производства ООО «Транснефть-Технологии». Имея большой опыт в работе с данной системой, специалисты ООО НВФ «СМС» подготовили набор прикладного программного обеспечения, реализованного с использованием различного инструментального

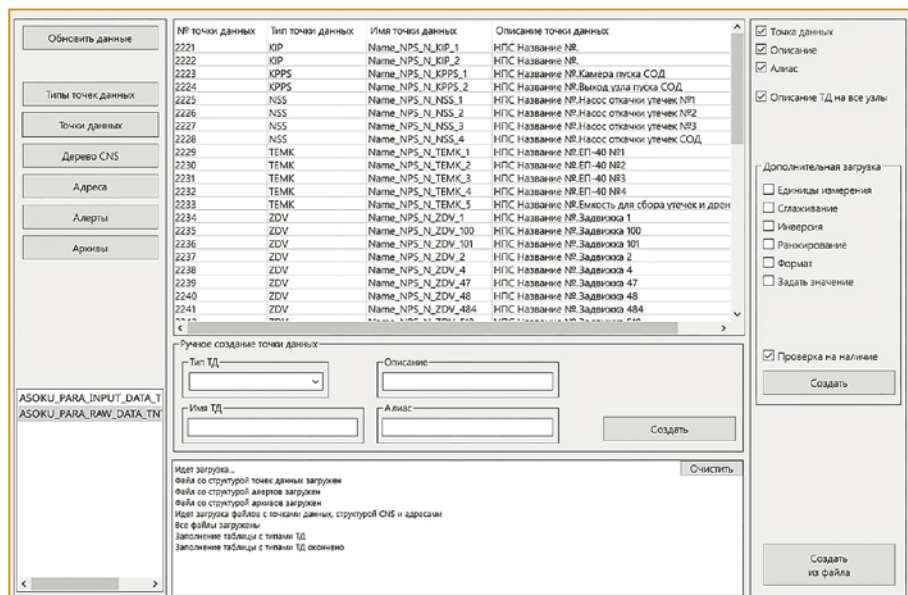


Рис. 2. Массовая конфигурация параметров БД

программного обеспечения, который можно рассматривать как единый набор средств для проведения массового инжиниринга для проектов диспетчеризации трубопроводного транспорта.

### Конфигурация базы данных

Центральным элементом любой SCADA-системы является её база данных, где хранится информация о конфигурации системы, её текущем состоянии, а также исторические данные. Массовое параметрирование в контексте подготовки базы данных SCADA-системы – это процесс модификации большого числа тегов (точек данных) как внешних (отвечающих за связь с технологическим процессом), так и внутренних (например, расчётные параметры). Зачастую эта часть действительно «подвергается» обработке за счет скриптов и/или возможностей SCADA. Ниже представим решение для автоматизации, которое применяется при разработке проектов в ООО НВФ «СМС», включая проекты для организаций ПАО «Транснефть».

Для автоматизации процесса наполнения базы данных проекта было разработано и использовалось программное обеспечение (рис. 2), позволяющее создавать настроечные листы на основе информации из файлов, сконфигурированных в приложении Excel (заготовленных пользователем в формате «.xlsx») и экспортированных в «.csv»). Массовый импорт этих листов в базу данных проекта значительно упростил и ускорил процесс настройки параметров объектов. При этом настраивались не только элементарные конфигурации, такие как имена в БД или текстовые описания. Конфигурировались сразу архивы, сообщения, адреса и т.п.

Разработанный модуль состоит из нескольких компонентов:

- Excel таблица «.xlsx») и экспортируемые из нее «.csv») файлы, необходимые для импорта в модуль;
- пользовательский интерфейс, позволяющий загрузить данные из файлов «.csv»), вручную создать точки данных, задать алерты, архивы;

• открытая библиотека, являющаяся конфигурационным файлом, глобальные переменные которого пользователю разрешено менять.

Также в программном модуле была предусмотрена возможность просмотреть данные из загружаемых файлов и сравнить их с тем, что уже существует в базе проекта. Важной особенностью модуля являлась открытая конфигурационная библиотека, позволяющая без дополнительного перепрограммирования всего модуля организовать реконфигурацию, необходимую для изменений в БД.

### Разработка экранных форм

Процесс разработки экранной формы прост и понятен: отрисовка статических графических элементов (примитивов), формирование динамических объектов, которые создаются либо сразу же на экранной форме, либо выносятся как экземпляры из заранее подготовленных библиотек графических элементов (не важно, поставляемых с системой или подготовленных самим разработчиком), их распределение на теги (точки данных) из базы данных проекта. Важно отметить, что даже в описанном примере нельзя исключить вероятность человеческой ошибки. Хорошо, если ошибка очевидна и будет найдена в ходе тестирования разрабатываемого программного продукта. Но будет ли тестирование?

Теперь представим разработку типовой мнемосхемы для нефтеперекачивающей станции (НПС). Несколько магистральных насосных и подпорных агрегатов, регуляторов давления, десятки задвижек, всё это на экране связано изображением трубопроводов и дополняется сигналами текущих значений давления, тока, температуры. Для одной системы диспетчерского управления магистральных нефтепроводов организаций системы «Транснефть» таких мнемосхем НПС нужно подготовить более десятка. А кроме них еще мнемосхемы резервуарных парков (РП), системы измерений количества и параметров нефти (СИКН), блок контроля качества нефти (БИК), линейных и технологических участков. Разработка такого объема экранных форм ощутимо съедает ресурсы системного интегратора. Кроме того, с увеличением числа объектов, вырастает и вероятность ошибки, что для непрерывно-функционирующих систем, таких как системы транспортировки нефти и нефтепродуктов, является недопустимым.

Для решения ситуаций, описанных выше, применяется массовый инжиниринг, заключающийся в автоматической генерации экранных форм. Важно отметить, что ЕСДУ внедряется вместо существующей системы диспетчерского контроля и управления (СДКУ). Последняя разработана на базе программного обеспечения Genesis32 и использовала в качестве SCADA-системы GraphWorX32

производства Iconics [1]. GraphWorX32 поддерживает выполнение макросов на языке Visual Basic Script в среде разработки. С учетом последнего для упрощения процесса разработки мнемосхем был создан программный модуль, осуществляющий экспорт мнемосхемы из SCADA GraphWorX32 в xml-файл, который SCADA ЕСДУ может распознать как мнемосхему. При работе использовались имена и обозначения СДКУ-стандарта. Каждый графический объект СДКУ GraphWorX32 при переносе в xml-файл сопоставлялся по заранее подготовленному «словарю объектов» с объектами ЕСДУ, динамическому объекту ставился в соответствие соответствующий объект из «Библиотеки СДКУ-Стандарт», экземпляр которого помещался по координатам соответственно расположения в СДКУ. Одновременно модулем анализировались динамические привязки объекта в GraphWorX32. Им находилось сопоставление в «словаре имен», на найденные таким образом имена тегов производилось разделение описанного ранее экземпляра объекта из библиотеки «Библиотеки СДКУ-Стандарт».

Важно, что данная утилита использует при работе внутренние имена из СДКУ (Genesis32) и, поскольку другие проекты СДКУ также были реализованы на Genesis, утилите почти не нужно перенастраивать при выполнении аналогичных действий при реализации других проектов ЕСДУ ПАО «Транснефть».

Указанное выше раскрывает некоторые особенности реализации. Что касается непосредственно работы, то Последовательность действий инженера-разработчика при использовании модуля массового создания экранных форм максимально проста и не требует дополнительных навыков, таких как программирование. Пользователь указывает путь на диске, где будет располагаться «папка-источник» и куда будут перемещаться мнемосхемы СДКУ (GraphWorX32 с расширением «.gdf»), требующие конвертации. Затем пользователь запускает на исполнение модуль массового создания экранных форм. В результате в «папке-приемнике» для каждой мнемосхемы СДКУ формируется xml-файл — это сгенерированная панель ЕСДУ на основе «Библиотек СДКУ-Стандарт», которую нужно переименовать соответствующим образом и положить согласно нормативам в соответствующие папки проекта ЕСДУ.

#### Тестирование разработанного ПО

Имитационное моделирование позволяет существенно ускорить процесс проведения тестирования разработанного программного продукта [2, 3].

При разработке ПО имитатора были учтены специфика последних лет, направленных на использование импортозамещения в части реализации программных и аппаратных комплексов. С учетом последнего было принято решение использовать в качестве среды имитации «поля» автоматизированную систему оперативного контроля и управления (АСОКУ) производства ООО НВФ «СМС» (рис. 3). При этом для конфигурирования среды имитации не пришлось тратить большого объема ресурсов,

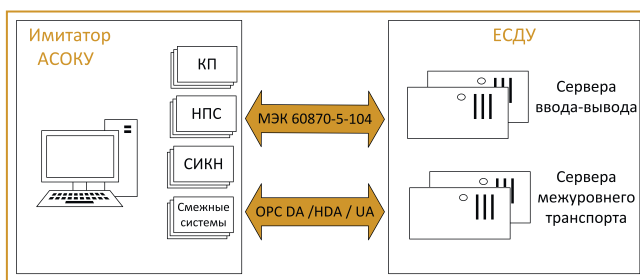


Рис. 3. Виртуальная пуско-наладка

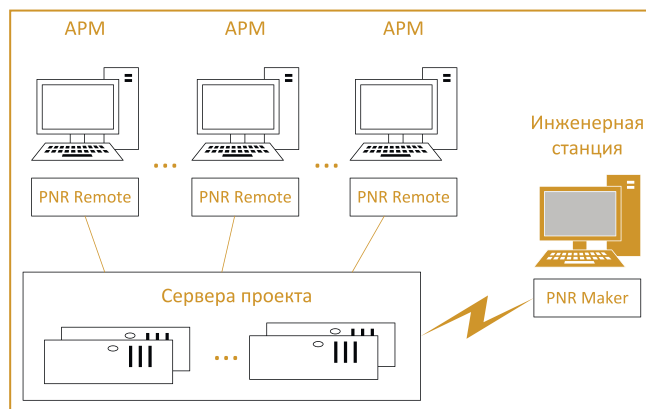


Рис. 4. Массовый инжиниринг при пусконаладочных работах

поскольку описанными средствами массового инжиниринга БД в автоматическом режиме были сформированы согласованные по параметрам модели и реализующее их программное обеспечение.

#### Пусконаладочные работы

Выполнение пусконаладочных работ предполагает, помимо прочего, поканальную проверку сигналов. При этом важно не только увидеть изменение сигнала с «поля» на мнемосхеме, но и убедиться в том, что сигнал зарегистрирован в системе архивации, протоколирования сообщений и т.д. Зачастую системный интегратор имеет достаточно времени для проведения проверки сигналов, поступающих от автоматизируемого оборудования. Поэтому, например, при проверке работы системы автоматического управления гидроагрегатом на гидроэлектростанции порой достаточно 1...2 программистов. Совсем по-другому обстоят дела с проверками в организациях ПАО «Транснефть». Процесс транспортировки нефти и нефтепродуктов осуществляется почти без остановок. Остановка технологического процесса происходит максимум на 72 ч. За это время нужно проверить несколько крупных объектов, таких как НПС, РП, СИКН, каждый из которых сопоставим или даже превосходит по числу сигналов САУ гидроагрегата из примера выше. Для возможности проведения проверок таких объектов в предельно сжатые сроки необходимо подходить к испытаниям с максимально готовым и оттестированным прикладным программным обеспечением. В связи с этим рекомендуется осуществить виртуальную пуско-наладку. Кроме того, для успешного проведения проверок в такой короткий срок тоже следует использовать массовый инжиниринг.

Для ускорения проведения пуско-наладки в условиях сжатых сроков специалистами ООО НВФ «СМС» разработаны и применяются модули PNRMaker и PNRRemote (рис. 4). Модуль PNRRemote запускается на каждом автоматизированном рабочем месте, с которого осуществляются проверки. Он позволяет: активировать точку данных, найти точку данных по адресу либо задать адрес, инвертировать приходящие с «поля» значения (для телесигнализации) либо задать ранжирование (для телеизмерений), добавить для точки параметры архивации, протоколирования сообщений, задать единицы измерения и т.п. Отметим также, что изменение, вносимые с помощью панели PNRRemote, распространяются только на заранее определенные объекты. Таким образом, ограничивается возможность выдачи управляющего воздействия на любой другой объект, отличный от проверяемого. Модуль PNRMaker, в свою очередь, служит для общей конфигурации проекта: добавления и изменения соединений, массового добавления новых точек данных и т.д. Для работы с PNRMaker требуется более опытный специалист, глубоко понимающий как работу программного обеспечения, так и протекания технологического процесса, а для непосредственно проверок можно использовать и специалистов с более низкой квалификацией. Программный модуль PNRRemote, телефон или рация для связи с проверяющим в «поле», открытая форма протокола в Excel - полный перечень инструментов для проведения успешной проверки.

#### Обслуживание и модернизация системы

Разработанный программный продукт прошел этап пуско-наладки, испытаний и введен в эксплуатацию. Но нужно понимать, что работы на этом не заканчиваются. Продолжительность жизненного цикла систем автоматизации, как правило, не превышает 20 лет, при этом средний срок модернизации систем автоматизации составляет 5 лет. Следовательно, полный жизненный цикл включает постоянные обновления и усовершенствования, связанные с изменением автоматизируемого оборудования. Возьмем в качестве примера одну из организаций «Транснефть». Ежегодно проводятся работы по техническому перевооружению, строительству, реконструкции и ликвидации объектов. Число изменяемых объектов измеряется десятками. При этом диспетчеры в территориальных диспетчерских пунктах «Транснефть» должны всегда наблюдать валидные данные. Соответственно, почти каждое изменение объекта в «поле» приводит к изменениям прикладного программного обеспечения ЕСДУ. Каждое такое изменение — это еще одна пуско-наладка на уровне ЕСДУ. Для этой наладки нужно внести в проект соответствующие изменения: переконфигурировать БД, внести изменения в экранную форму, провести тестирование внесенных изменений до переноса в действующий

*Цветков Вячеслав Владимирович — начальник отдела программного обеспечения диспетчерских систем ООО НВФ "Сенсоры, Модули, Системы", группа компаний "СМС-Автоматизация".*

*Всё дело в мыслях.  
Мысль - начало всего. И мыслями  
можно управлять. И поэтому главное  
дело совершенствования -  
работать над мыслями.*

Лев Толстой

проект, провести испытания для интеграции новых или измененных данных. Все эти шаги возможно выполнить с помощью описанных средств массового инжиниринга.

#### Результаты

Использование массового инжиниринга позволило значительно ускорить все стадии разработки проекта ЕСДУ в АО «Транснефть-Прикамье». По итогам заводских и индивидуальных испытаний, а также опытной эксплуатации ЕСДУ АО «Транснефть-Прикамье» была принята в промышленную эксплуатацию в 2021 г. В 2024 г. аналогичный подход применяется на проекте для реализации ЕСДУ ООО «Транснефть-Восток». На текущий момент, применение массового инжиниринга уже позволило успешно пройти заводские приемо-сдаточные испытания.

#### Выводы

Опыт показывает, что использование массового инжиниринга при разработке АСУТП обеспечивает значительные преимущества в управлении сложными и масштабными проектами, упрощая процесс их настройки и обслуживания, позволяет существенно снизить время и расходы на разработку программного проекта на всех его стадиях, повысить качество программного обеспечения, общую надежность и эффективность системы. Последнее важно не только для разработчиков, системных интеграторов, но в первую очередь для заказчика системы. Также отметим импортозамещение как один из ключевых факторов в процессах инжиниринга, позволяющих создавать отечественные аналоги программного обеспечения и развивать собственные информационные системы, что обеспечивает снижение зависимости от зарубежного программного обеспечения и развитие отечественных технологий.

#### Список литературы

1. *Киселёва Ольга, Атучин Александр.* Программное обеспечение ICONICS и решение «Синтек» — выбор «Транснефти» для нового нефтепровода // СТА, 2012 №2 — С.14-18.
2. *Захарченко В.Е.* Опыт виртуальной пусконаладки в гидроэнергетике // Автоматизация в промышленности, 2019 №11 — С.3-5.
3. *Цветков В.В.* Опыт виртуальной пусконаладки АСУТП для нефтепроводных компаний // Ашировские чтения. 2024 №1 (16) — С. 272 — 274.