

Установки поверочные серии «УППУ-МЭ» для метрологического обеспечения электроизмерительных приборов, счетчиков электроэнергии и автоматизированные поверочные комплексы на их основе

*И. А. Гиниятуллин,
директор ООО «НПП Марс-Энерго»*

1. Немного истории

В 1977 году в Гос. реестр СИ под № 5929-77 была внесена установка поверочная полуавтоматическая универсальная «УППУ-1», разработанная группой сотрудников ВНИИМ им. Д. И. Менделеева под руководством Е. З. Шапиро. В результате было выпущено более 1500 установок «УППУ-1» и «УППУ-1М», которые применялись в отечественных и зарубежных метрологических лабораториях для поверки широкого круга приборов для электроэнергетики вплоть до 90-х годов прошлого века.

Надо отметить, что отдельные параметры установки (например режим измерения электрической мощности в частотном диапазоне до 20 кГц) реализованы далеко не в каждой современной поверочной установке. Установка «УППУ-1М» была ориентирована на поверку аналоговых (со стрелочным или световым указателем) амперметров, вольтметров и ваттметров. Ее измерительный преобразователь был основан на методе аналогового компарирования сигналов переменного и постоянного тока с помощью уникальных термоэлектрических преобразователей, выпускавшихся заводом «Эталон» ВНИИМ. Обеспечивая достаточно высокую точность измерений в широкой полосе частот, этот метод практически исключал дальнейшую возможность автоматизации и обработки результатов измерений, расширения функций установки (например поверку счетчиков или измерителей коэффициента гармоник), чего требовал динамично развивающийся парк средств измерений (СИ) электроэнергетики. Новое поколение цифровых, многофункциональных СИ электроэнергетики потребовало создания нового поколения адекватных ему высокопроизводительных, многофункциональных поверочных установок. В основу нового поколения эталонных СИ электроэнергетических величин (ЭЭВ), в том числе показателей качества электрической энергии (ПКЭ) и параметров электрических сетей, был положен метод математической обработки массивов результатов аналого-цифровых преобразований мгновенных значений напряжения и (или) тока, позволяющий далее рассчитать значения различ-

ных ЭЭВ в зависимости от использованных алгоритмов и программного обеспечения.

В начале 2000-х годов в «НПП Марс-Энерго» совместно с лабораторией электроэнергетики ВНИИМ был разработан, исследован и внесен в Гос. реестр СИ РФ основанный на этом методе многофункциональный эталонный прибор для измерения ЭЭВ «Энергомонитор-3.1». Этот прибор с учетом последующих модернизаций стал центральным узлом созданного компанией «Марс-Энерго» ряда поверочных установок нового поколения «УППУ-МЭ» (начиная с «УППУ-МЭ 3.1», 2004 г.), рассмотренных далее.

С разрешения автора легендарной установки «УППУ-1» было сохранено ее название, что обязывает предприятие-изготовителя сочетать традиционное качество продукции с современными техническими решениями.

2. Установки «УППУ-МЭ»: основные модификации и области применения

В период с 2004 по 2020 год было выпущено в общей сложности около тысячи поверочных установок серии «УППУ-МЭ» в лабораторном и переносном исполнениях. Было разработано несколько модификаций, таких как «УППУ-МЭ 3.1», «УППУ-МЭ 3.1К» и «УППУ-МЭ 3.1КМ» с наращиванием функциональных и технических возможностей. Были добавлены функции измерения постоянного тока, напряжения и мощности, ПКЭ, поверки измерительных трансформаторов напряжения (ИТН) и тока (ИТТ), бортовых приборов с номинальной частотой 400 Гц и ЭлТА-счетчиков.

Основные заказчики установок – метрологические лаборатории и службы энергосистемы органов Росстандарта и промышленных предприятий.

Функциональные возможности установок «УППУ-МЭ» в области измерений ЭЭВ и поверки соответствующих СИ (приборов и измерительных преобразователей) представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Модификации установок «УППУ-МЭ» для метрологического обеспечения СИ в электроэнергетике

Виды рабочих средств измерений (СИ) в электроэнергетике	УППУ-МЭ 3.1КМ	УППУ-МЭ 3.3Т1	УППУ-МЭ-21	Энергомонитор-61850*	МарсГен-61850*	МарсКомп К-1000*
Вольтметры, амперметры, измерительные преобразователи напряжения и переменного тока	+	+	+	+		+
Приборы для измерения напряжения, силы тока и мощности постоянного тока	+		+			
Фазометры, частотомеры	+	+	+	+		
Измерители коэффициента мощности	+	+	+	+		
Однофазные и трехфазные измерительные преобразователи активной и реактивной мощности	+	+	+			
Однофазные и трехфазные ваттметры, варметры активной и реактивной мощности	+	+	+	+		
Многофункциональные измерительные преобразователи с входами по МЭК 61850-9-2					+	
Приборы для измерения ПКЭ	+	+	+			
Бортовые электроизмерительные приборы f _{ном} =400Гц			+			
СЧЕТЧИКИ						
Однофазные и трехфазные счетчики активной и реактивной электрической энергии	+	+	+	+		
ЭлТА-счетчики			+			
Однофазные и трехфазные интеллектуальные счетчики активной и реактивной электрической энергии	+	+	+			
ТРАНСФОРМАТОРЫ						
Маломощные измерительные трансформаторы						+
Измерительные трансформаторы с выходами по МЭК 61850-9-2				+		
Измерительные трансформаторы переменного тока		+	+	+		+
Устройства сопряжения (ПАС) с выходами по МЭК 61850-9-2				+		

** Эталонные приборы для метрологического обеспечения СИ цифровых подстанций и маломощных измерительных трансформаторов будут рассмотрены в следующем обзоре.*

3. Структура и состав установок «УППУ-МЭ»

Структура и состав установки при поверке классического счетчика при измерении мощности приведены на рис. 1.

Основная операция поверки любого СИ – определение его погрешности – осуществляется во всех модификациях установок «УППУ-МЭ» путем сравнения результатов измерений поверяемого СИ и соответствующей модификации эталонного прибора «Энергомонитор» (1), на которые подается один и тот же испытательный сигнал. В качестве источника испытательного сигнала в «УППУ-МЭ» используются разработанные «НПП Марс-Энерго» трехфазные генераторы «Энергоформа» (2), формирующие отдельные или синхронизированные между собой сигналы напряжения и тока (фиктивная мощность) с заданным гармоническим составом, а также углами сдвига фазы между этими сигналами. Необходимая нагрузочная способность источника обеспечивается усилителями напряжения (3) и тока (4), входящими в состав установки.



Рис. 1

Поверка классического счетчика при измерении мощности

4. Метрологическое обеспечение интеллектуальных счетчиков электроэнергии

Интеллектуальный счетчик электрической энергии (ИС) – это одна из разновидностей интеллектуальных СИ, которая кроме основной функции счетчика (измерение электрической энергии (и мощности)) выполняет измерения еще ряда ЭЭВ, включая ПКЭ, и обладает рядом сервисных функций.

После принятия закона ФЗ № 522, Постановления Правительства № 890 от 19.06.2020 г. и комплекта нормативных документов, регламентирующих требования к организации интеллектуальных систем учета и техническим характеристикам входящих в состав интеллектуальных приборов учета, в Российской Федерации появилась потребность в поверочных установках с расширенными метрологическими возможностями. Причиной тому стала необходимость введения дополнительных функций в приборы учета, а именно:

- измерение ПКЭ по классу S по ГОСТ 30804.4.30-2013,
- многотарифность,
- измерение активной и реактивной энергии переменного тока в двух направлениях, в том числе полной мощности в каждой фазе, суммарной мощности и т. д.

Другие дополнительные функции относятся к сервисным возможностям счетчика и не связаны с метрологическими характеристиками.

Объединение в одно устройство счетчика электроэнергии и прибора измерения ПКЭ класса S в данный момент означает, что для поверки данного гибридного СИ необходимо адаптировать установку для решения двух задач, что вызывает определенные проблемы: счетчики электроэнергии и прибор измерения ПКЭ имеют свои особенности, в том числе процедуры поверки, а именно количество поверяемых величин, что, соответственно, определяет время поверки, трудоемкость и состав поверочного оборудования.

Регламент или нормативы времени поверки классического счетчика отводят на это от десятков секунд до нескольких минут в зависимости от степени автоматизации установки. Время же поверки прибора измерения ПКЭ может занимать от нескольких десятков минут до нескольких часов в зависимости от степени автоматизации.

Для сравнения трудоемкости поверки классического электросчетчика и интеллектуального прибора учета с функцией измерения ПКЭ подсчитаем количество точек поверки на примере двух модификаций счетчика Милур 307 0,2S. Для классической модификации – 25 точек, 5 параметров; для модификации с расширенным функционалом (с измерением ПКЭ) – 86 то-

чек, 28 параметров. Таким образом, для ИС объем поверки вырос в 3,5 раза.

Тиражи производства приборов измерения ПКЭ, как правило, составляют от единиц до десятков тысяч штук в год в зависимости от масштаба предприятия. Планы же заводов по производству интеллектуальных счетчиков составляют от сотен тысяч до миллионов штук в год.

Для уменьшения времени поверки интеллектуального счетчика требуется автоматизация процесса. Но даже максимальная автоматизация не позволит ускорить процесс до времени поверки обычного классического счетчика из-за большого количества поверяемых параметров и высокой трудоемкости их поверки. Принцип работы поверочной установки в двух режимах работы рассмотрим ниже на примере многоместной установки серии «УППУ-МЭ». Следующий этап повышения производительности поверочных работ рассмотрен далее на примере автоматизированного поверочного комплекса на базе многоместной установки «УППУ-МЭ».

В настоящее время процедура поверки ИС производится в два приема: ИС поверяется при измерении мощности и при измерении ПКЭ.

При поверке ИС как СИ электрической энергии (см. рис. 1) применяется классический метод сравнения двух частот (эталонной и поверяемой) с помощью калькулятора погрешности ПТНЧ-М (5) и расчета погрешности по результату сравнения двух частот. Соответственно мы снимаем сигнал с частотного выхода поверяемого счетчика с помощью фотосчитывающего устройства (6) бесконтактно или с помощью пульта формирования импульсов ПФИ (7) и с частотного выхода эталонного счетчика и далее подаем сигналы на ПТНЧ – калькулятор погрешности.

При поверке ИС при измерении ПКЭ (рис. 2) необходимо считывать с помощью ПК измеренные значения ПКЭ из памяти поверяемого и эталонного счетчиков. На основе сравнения информации, полученной из приборов, на ПК автоматически формируется протокол поверки с помощью специализированного ПО.



В этом случае мы осуществляем доступ к данным ИС через различные цифровые интерфейсы, имеющиеся в счетчике (RS-485, токовая петля и т. п.). При этом для подключения ИС к ПК применяются преобразователи интерфейсов, позволяющие использовать штатные интерфейсы ПК (Ethernet или USB).

В результате взаимодействия с нашими заказчиками – заводами по производству ИС – произведена глубокая модернизация «УППУ-МЭ» для полной автоматизации поверки ИС.

В последней версии эталонного счетчика «Энергомонитор-3.1KM» добавлены новые режимы для управления эталонным счетчиком по последовательному каналу (RS-232) со стороны ПК, позволяющие полностью автоматизировать работу установки.

Новые режимы позволяют дистанционно:

- запускать и останавливать процесс регистрации провалов и перенапряжений,
- запускать и останавливать процесс осциллографирования,
- переустанавливать «схему включения прибора»,
- переустанавливать время в часах прибора,
- перепрограммировать делитель частоты на частотном выходе,
- считывать из прибора все его текущие уставки.

сигнал электронного трансформатора напряжения (U_u) обычно не превосходит уровня допускаемого для АЦП (менее 10 В).

Для метрологического обеспечения ЭлТА-счетчиков в 2021 году разработана установка «УППУ-МЭ-21». Для работы в составе установки разработаны эталонный прибор «Энергомонитор-3.1Э» с дополнительным внешним усилителем и генератор сигнала «Энергоформа-3.1Э», имитирующий выходные сигналы электронных трансформаторов.

Эти приборы – всего лишь модификации выпускаемых серийно приборов «Энергомонитор» и «Энергоформа». Блоки усилителей для поверки ЭлТА-счетчиков не требуются, так как сигнал достаточной мощности обеспечивает генератор «Энергоформа-3.1Э». При этом эталонный прибор «Энергомонитор» сохранил все предыдущие функции для поверки классических счетчиков и приборов. А дополнительные функции в комплекте с внешним усилителем нарастили возможности классической поверочной установки с минимальными вложениями средств.

Внешний вид и структура установки «УППУ-МЭ-21» при поверке ЭлТА-счетчика представлены на рис. 4 и 5.



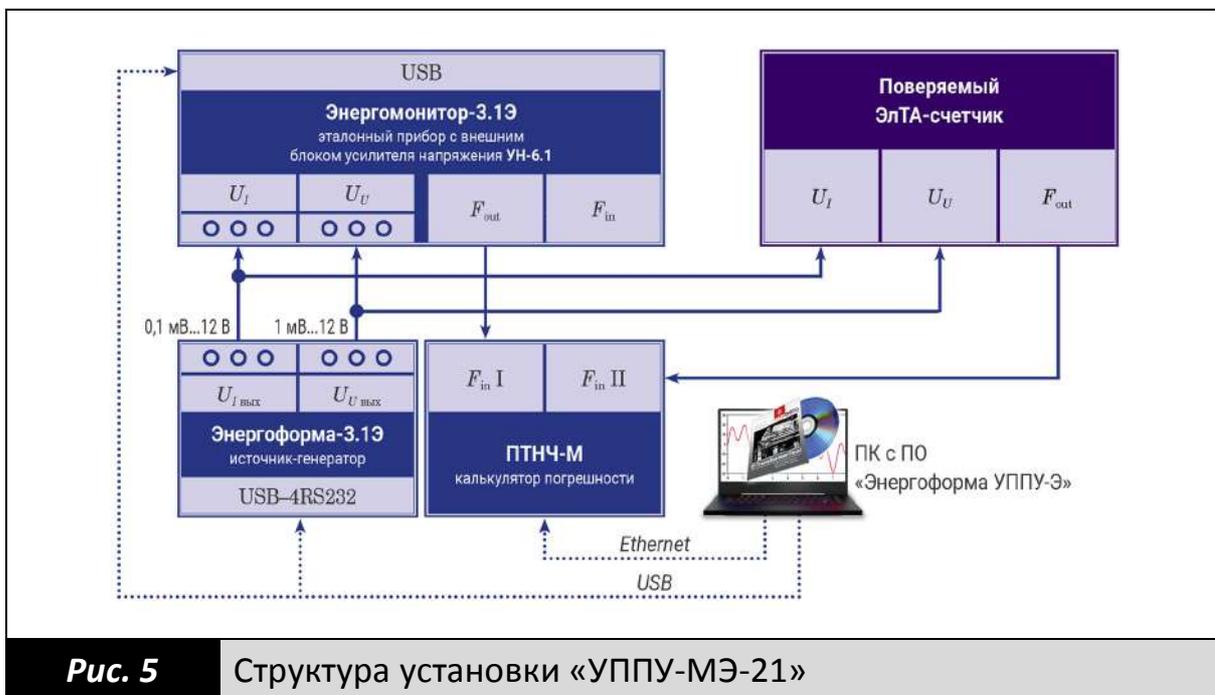


Рис. 5 Структура установки «УППУ-МЭ-21»

Некоторые счетчики не имеют импульсного испытательного выхода. Для их поверки генератор «Энергоформа-3.1Э» с высокой точностью по длительности выдает фиктивную мощность на «Энергомонитор-3.1Э» и поверяемый счетчик. Это позволяет определять с помощью ПО погрешность измерения энергии.

Помимо базовых функций в установке «УППУ-МЭ-21» обеспечена возможность поверки бортовых приборов с частотой основной гармоники 400 Гц.

6. Метрологическое обеспечение установок «УППУ-МЭ»

Для всех видов выпускаемых ныне установок «УППУ-МЭ» обеспечена прослеживаемость результатов измерений к государственным первичным эталонам (ГПЭ) единиц постоянного и переменного напряжения [2], силы тока [3], электрической мощности, энергии и ряда ПКЭ [4]. Передача размеров единиц вышеперечисленных ЭЭВ от эталонов верхнего уровня к рабочим эталонам и СИ показана на рис. 6.

«НПП Марс-Энерго» располагает собственным многофункциональным вторичным эталоном единицы электрической мощности в диапазоне частот от 40 до 2500 Гц. В необходимых случаях для поверки наиболее точных приборов «Энергомонитор», определяющих точность установки, используется ГПЭ единицы электрической мощности ГЭТ 153-2019 ВНИИМ.

По специальному заказу аналогичный многофункциональный рабочий эталон может быть изготовлен и аттестован во ВНИИМ.



Рис. 6

Передача размеров единиц ЭЭВ

7. Автоматизированные комплексы массовой поверки счетчиков электрической энергии на основе установок «УППУ-МЭ»

На сайте ПАО «Россети» от 01.07.2020 опубликовано сообщение, что компания с 1 июля 2020 года приступила к реализации закона № 522-ФЗ о развитии интеллектуальных систем учета и внедрению интеллектуальных счетчиков. Анонсировано, что «Россети» внедряет 18,1 млн «умных» счетчиков или ИС до конца 2030 года. На заводах госкорпорации «Ростех» разворачивается подготовка производства ИС для установки в том числе на объектах «Россети».

Одним из этапов производственного цикла сборки ИС является процесс калибровки, поверки счетчика с применением поверочной установки и другие сопутствующие операции, например проверка сопротивления изоляции, проверка интерфейсов, тарификатора и функции отключения нагрузки и т. д.

В масштабах крупносерийного производства (например 1 млн счетчиков в год) требуется необходимое количество многоместных поверочных установок, сочетающих два ключевых параметра: необходимые технические характеристики для выполнения поверки в соответствии с методикой и производительность для обеспечения плана производства или количества.

Несмотря на то, что в мире и в России уже давно работает множество заводов крупносерийного производства счетчиков, в международном техническом комитете ТК 13 разрабатывается новая версия стандарта IEC 62057-3 на автоматические поверочные установки. В состав рабочей

группы от России входит представитель «Марс-Энерго». Новый стандарт заменит ныне действующий IEC 62057-1. Стандарт описывает принципы построения крупносерийных линий сборки и поверки счетчиков.

У компании «Марс-Энерго» есть собственное видение организации автоматизированного процесса поверки. Это проект «ROBOMARS», представленный ниже на рис. 7.

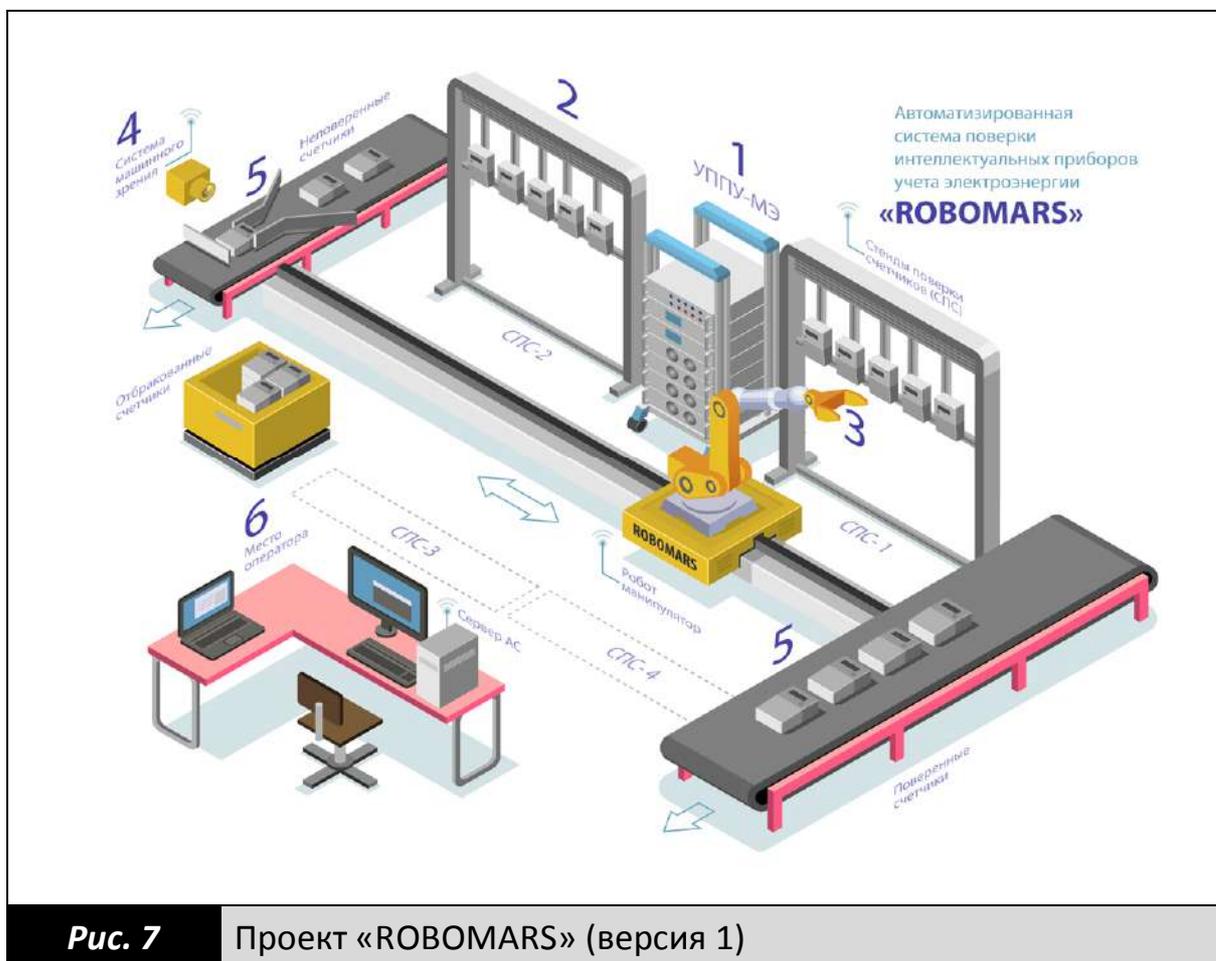


Рис. 7 Проект «ROBOMARS» (версия 1)

Краткое описание проекта и состав «ROBOMARS» (версия 1) автоматизированной системы поверки интеллектуальных приборов учета

Состав системы:

1. Многоместная поверочная установка серии «УППУ-МЭ»
2. Устройства навески счетчиков
3. Робот-манипулятор для установки и снятия счетчиков
4. Система машинного зрения в зоне подачи счетчиков
5. Конвейеры для подачи счетчиков в поверку и готовых
6. Место оператора для запуска и контроля системы

Преимущества системы:

- гибкость (быстрая перестройка на любые типы счетчиков),
- простота обслуживания и ремонта,
- возможность наращивания или масштабирования системы.

Недостаток: жесткое крепление робота-манипулятора на рельс, в связи с чем невозможно изменять положение и количество устройств навески счетчиков и жестко определен маршрут движения. Поэтому возможна версия 2 (рис. 8). В этом случае робот-манипулятор устанавливается на автоматизированную тележку и маршрут движения произвольный.

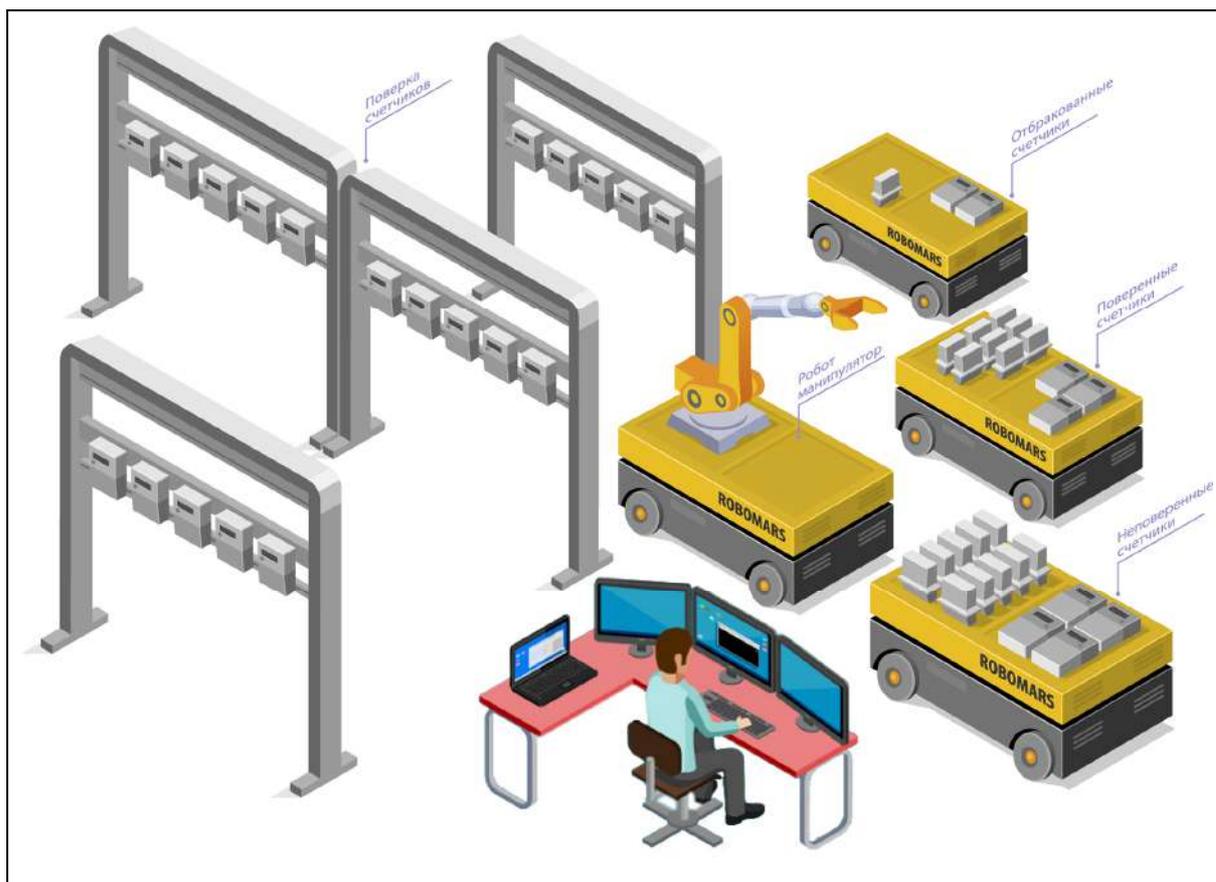


Рис. 8

Проект «ROBOMARS» (версия 2)

Также на самодвижущиеся тележки могут помещаться поверенные, неповеренные и бракованные счетчики. Устройства навески могут располагаться в произвольном положении.

Недостаток системы версии 2: более высокая стоимость и трудоемкость реализации проекта по сравнению с версией 1. Реализации проекта возможна в кооперации с партнерами, специалистами в области робототехники.

8. Перспективные направления работ

Основное перспективное направление работ «НПП Марс-Энерго» в настоящее время состоит в разработке, исследовании и организации производства эталонных СИ для метрологического обеспечения измерений на цифровых подстанциях энергосистем.

В последние годы создана и успешно эксплуатируется установка «УПК-МЭ», обеспечивающая поверку цифровых измерительных трансформаторов с выходными сигналами в виде числовых SV-поток в формате протокола МЭК 61850-9, разработаны и совершенствуются модификации приборов «Энергомонитор-61850», калибратор цифровых потоков «МарсГен-61850» и установка «МарсТест-61850». Рассмотрение этих работ выходит за рамки настоящей публикации, посвященной установке «УПК-МЭ», и является анонсом следующего обзора.

Автор выражает признательность д.т.н. Е.З. Шапиро, С.Р. Сергееву и В.П. Чернобривцу за помощь в подготовке статьи.

Список литературы

1. IEC 61869–10:2017 Instrument transformers. Part 10. Additional requirements for low-power passive current transformers.
2. Приказ Росстандарта № 1053 от 29 мая 2018 г. Об утверждении государственной поверочной схемы для средств измерений переменного электрического напряжения до 1000 В в диапазоне частот от $1 \cdot 10^{-2}$ до $2 \cdot 10^9$ Гц.
3. ГОСТ Р 8.767-2011 ГСИ Государственная поверочная схема для средств измерений силы переменного электрического тока от $1 \cdot 10^{-8}$ до 100 А в диапазоне частот от $1 \cdot 10^{-1}$ до $1 \cdot 10^6$ Гц.
4. Приказ № 1436 от 23.07.2021 «Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений электроэнергетических величин в диапазоне частот от 1 до 2500 Гц».