

ПРОБЛЕМЫ И ВОЗМОЖНОСТИ ИНТЕГРАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ В ПРИКЛАДНОЕ ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

Аракелян Э.К.¹, Андрияшин А.В.¹, Пащенко Ф.Ф.², Мезин С.В.¹, Косой А.А.¹.

¹ *Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Москва, 111250, Красноказарменная, 14*

² *Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Россия, г. Москва, ул. Профсоюзная д.65
ArakelianEK@mpei.ru, Edik_arakelyan@mpei.ru*

Аннотация Рассматриваются проблемы интеграции оптимизационных алгоритмов в прикладное программное обеспечение программно-технических комплексов при интеллектуализации АСУТП ТЭС. Приведено описание некоторых из возникающих проблем и дано возможные пути их решения. Особое внимание уделено определению целесообразности включения интеллектуальных технологий и оптимизационных алгоритмов в состав решаемых на станционном уровне задач в рамках интеллектуальной АСУТП на базе ПТК.

Ключевые слова: проблемы, интеграция, программное обеспечение, интеллектуализация, методический подход, экспертная оценка, коэффициент интеллектуальности, экономическая целесообразность.

Введение

Анализ современного состояния АСУТП ТЭС на базе современных программно-технических комплексов (ПТК) выявил следующие основные проблемы управления технологическими и производственными процессами:

- недостаточный уровень интеллектуальности процессов регулирования и управления, особенно в части управления производственными процессами на станционном уровне;
- низкая технико-экономическая эффективность производства энергии из-за отсутствия в прикладном программном обеспечении (ППО) ПТК алгоритмов решения оптимизационных задач как блочного, так и станционного уровней;
- отсутствие методических подходов и практических рекомендаций по интеграции алгоритмов оптимального управления в ППО ПТК, как при наличии на станциях полномасштабных АСУТП так и при их частичном наличии на части оборудования станции;
- отсутствие методических положений по созданию и внедрению эффективных интеллектуальных алгоритмов для решения задач станционного уровня с учетом требований и ограничений системного уровня по оптимальному управлению технологическими и производственными процессами производства энергии, приспособленных и готовых для интеграции их в прикладное программное обеспечение (ППО) ПТК;
- отсутствие специалистов, ориентированных на разработку, внедрение и эксплуатацию АСУТП с высоким уровнем интеллектуальности.

Обусловлено это тем, что в современные АСУТП на базе ПТК первоначально ориентированы на управление технологических процессов блочного уровня и заложенные в них потенциал программных и информационных возможностей используются далеко не в полной мере. Очевидно, что это дает большой простор и ресурсы для повышения интеллектуальности АСУ ТП, однако ситуация усложняется тем, что многие разработанные алгоритмы оптимизации не нашли широкого применения, в виду недостаточной их проработанности или отсутствия возможности реализации надлежащего взаимодействия между информационными и программными средствами ПТК и программами, реализующими оптимизационный алгоритм, а также большой доли ручного ввода начальных данных, выполняемого при каждом изменении задания. Следовательно, для внедрения автоматизированного управления режимами работы электростанции, необходимо усовершенствовать техническое и информационное обеспечение АСУ ТП, работающих на базе ПТК[1,2].

Проблемы повышения интеллектуальности АСУТП

В настоящее время во многих отраслях науки и техники, в том числе и в энергетической области, большое внимание уделяется изучению и разработке новых программных средств на базе искусственного интеллекта - интеллектуальных алгоритмов, машинного обучения, нечеткой логики

и т.д., что очень актуальна и в сфере автоматизированных систем управления технологическими процессами ТЭС и АЭС. Повышение степени автоматизации и интеллектуальности АСУ ТП может значительно улучшить эффективность и качество управления производственными процессами, освободить человека от рутинной деятельности, облегчить работу операторов и вместе с тем значительно снизить вероятность возникновения сбоев в работе по вине человеческого фактора. Одним из таких направлений является разработка и внедрение в прикладное программное обеспечение (ППО) ПТК интеллектуальных алгоритмов повышения качества регулирования и решения оптимизационных задач агрегатного, блочного и станционного уровней. Важной частью так же является реализация их интеграции в ППО ПТК и разработка способа их эффективного взаимодействия с традиционной действующей на объекте АСУТП.

Дополнительной проблемой является учет внешних связей -современные условия работы электростанции на рынке электроэнергии и мощности требуют выхода за пределы станционного уровня и учитывать операционное окружение для самой электростанции. Системный оператор Единой энергетической системы (СО ЕЭС),управляющий режимами работы электростанций как в долгосрочном, так и в оперативном аспектах времени, представляется для интеллектуальной системы станции ограничениями в рассмотрении задач станционного уровня АСУТП. Требования, которые предъявляет СО ЕЭС – это команды определенного возмущения, которую уровень ТЭС обязан выполнять. Следует учитывать, что задачи, решаемые на уровне СО ЕЭС, полностью или частично могут расходиться с задачами, которые решаются на уровне ТЭС и не всегда интересы совпадают.

Анализируя результаты работ, проведенных рядом организаций по исследованию путей повышения эффективности и интеллектуальности АСУТП [3,4], можно сделать следующие выводы: - если исходный уровень интеллектуальности современной АСУТП на базе ПТК по экспертной оценке находится на уровне 0,38-0,39 от максимально условно возможного уровня интеллектуальности, то реализация комплекса оптимизационных задач агрегатного, блочного и станционного уровней управления технологическими процессами ТЭС может обеспечить экономически целесообразную степень интеллектуальности АСУТП на уровне 45-55% от того же максимального возможного уровня; по предварительной оценке при реализации предлагаемых интеллектуальных технологий может обеспечить: повышение экономичности работы электростанций за счет: оптимизации режимов работы оборудования в пределах 2%; снижение затрат и потерь топлива в останочно-пусковых режимах на 20-30 %; повышение маневренности электростанций за счет сокращения времени пуска турбин на 40-50 %; повышение не менее чем на 40 % достоверности оценки технического состояния оборудования; снижение аварийных остановов до 15 %; повышение ресурса энергетического оборудования не менее чем на 10 %. Заметим, что хотя применяемые в расчетах оценочные значения коэффициентов интеллектуальности и значимости различных функций и задач интеллектуальных алгоритмов носят иллюстративный характер и для их уточнения требуется дополнительных исследований, вместе с тем они в какой-то мере достоверности отражают реальную картину.

Вместе с тем выявились и ряд проблем, связанные с реализацией оптимизационных задач верхних уровней в распределенной АСУТП, в частности, на станционном уровне, в том числе [5]:

- как, по каким критериям определить перечень перспективных оптимизационных задач, реализация которых может способствовать повышению эффективности и интеллектуальности АСУТП и станции в целом;
- каким образом следует организовать техническое и информационное обеспечение работы нескольких энергоблоков для решения оптимизационных задач станционного уровня;
- как оценивать эффективность и целесообразность реализации задач блочного и станционного уровней на стадиях проектирования и эксплуатации;
- каким образом использовать информационное поле АСУТП для решения перспективных задач станционного уровня, не нарушая при этом нормальное функционирование штатной АСУТП.

Пути решения проблем интеграции оптимизационных алгоритмов в ПТК

Рассмотрим возможные подходы к решению указанных проблем.

Так, создавая распределенную систему таким образом, что бы большинство задач, требующих значительных временных ресурсов на первичную обработку входной информации могли быть решены на нижнем уровне. можно использовать возможности ПТК дополнительно в качестве решения перспективных задач блочного уровня. Очевидно, что для решения задач станционного уровня, потребуется дополнительные вычислительные возможности в виде специально выделенного сервера соответствующей мощности. Закладывая распределенность задач, на первое место необходимо ставить возможность решения оптимизационных задач станционного уровня,

предварительно определяя их технико-экономическую эффективность. Вместе с тем необходимо учесть так же, что чем больше задач реализуется, тем ниже будет надежность целевой системы. Сторонники распределенных систем оправдывают это переходом на цифровую передачу информации. С учетом стоимости передачи информации по информационным каналам, распределенные системы имеют более высокие показатели эффективности.

Ожидаемой сложностью технической реализации является распределение вычислительной мощности ПТК между решением оптимизационных и текущих задач. Не смотря на то, что разработчики АСУ ТП проектируемых станций закладывают большой резерв свободной вычислительной мощности ПТК, нельзя исключать ситуации, при которых уже на работающей станции возможно повышение нагрузки на технические ресурсы ПТК в следствии комбинирования срабатывания множества отдельных неопасных факторов. Это может быть как рутинное повышение температуры в помещении шкафов автоматизации, наложение запланированных служебных задач технического ПО (дефрагментация дисков, актуализация бекапов), работа тяжелых алгоритмов ПТК, так и неопасная в отдельности деградация резервирования контроллеров в случае отказа одного из них, вызывающая временную дополнительную нагрузку на ПТК, после восстановления работы отдельного модуля, для возврата к синхронизированной работе резервных пар контроллеров. Комбинация всех этих рутинных проблем вкупе с работой нового виртуального интеллектуального узла в составе ПТК может вызвать недопустимые сбои в работе всей системы. Для недопущения возникновения таких ситуаций предлагается:

- перевести часть расчетных функций АСУТП с блочного на станционный уровень – тех задач, выполнение которых связано с общестанционными службами (например, расчет и анализ ТЭП энергоблоков, выбор оптимального давления в конденсаторе), что значительно разгрузит информационную нагрузку контроллеров блочного уровня;
- связать сигнал процента загрузки ресурсов ПТК с узлом интеллектуализации ПТК, введя ступенчатую шкалу выполняемых узлом функций. Градацию функций реализовать с помощью расстановки приоритетов решаемых задач интеллектуальным узлом, что выходит за границы данной статьи. Подчеркнём только, что в аварийном случае критической нехватки свободной вычислительной мощности ПТК должна происходить предельная деградация узла решения интеллектуальных задач оптимизации. Очевидно, что таком тяжелом для АСУ ТП станции случае – временное отключение виртуального интеллектуального узла для высвобождения вычислительных мощностей под штатные задачи является первостепенным и естественным решением.

В условиях традиционной АСУТП не следует стремиться интеллектуализировать, в первую очередь, сложившиеся традиционные задачи, а следует искать такие задачи и ставить их в такой последовательности, при решении которых, благодаря комплексу программно-технических средств (ПТС) с его высокой скоростью и производительностью обработки информации, достигается своевременность, полнота и оптимальность принимаемых решений, обеспечивающих эффективное функционирование АСУТП. При этом требуется тщательный анализ функций и вытекающих из них задач, выявления возможных потерь (простои, нерациональная загрузка оборудования и др.) в объекте интеллектуализации, в результате которых должен быть выявлен перечень перспективных задач, не решаемых или ограниченно решаемых ранее примитивными ручными методами.

Особое внимание уделялся методологии и практических подходов к технической реализации интеллектуализации систем управления ТЭП электростанции и оптимального распределения нагрузки, как наиболее актуальные и запрашиваемые со стороны эксплуатационного персонала электростанций. Анализ показал, что требованиям перехода на управление в том числе станционных оптимизационных задач в настоящее время удовлетворяет большинство современных ПТК, в том числе и отечественных. Это значит, что для технической реализации предлагаемых алгоритмов и интеграции их в АСУ ТП станции не потребуется закупка и наладка нового оборудования. Достаточно виртуально обособить неиспользуемые мощности ПТК, создав виртуальный функциональный узел для решения интеллектуальных задач. В этот узел, всё также виртуально, то есть не затрачивая средства на закупку и прокладку новых кабельных связей, завести из ПТК уже существующие сигналы от датчиков и программ. Выходные сигналы из интеллектуального узла оптимизации легко подключить как непосредственно дополнительными сигналами в подпрограммы АСУ мощностей блогов, так и в виде рекомендательной информации на мнемосхемы оператору.

При интеллектуализации АСУТП важной и сложной проблемой является определение целесообразности разработки и внедрения каждого интеллектуального алгоритма. Методические положения оценки уровня интеллектуальности иерархических уровней АСУТП и АСУТП в целом,

изложенные в [5,6], дают такую возможность на базе экспертных оценок.. Рассмотрим возможность использования этой методики для оценки целесообразности включения отдельных оптимизационных задач в состав решаемых задач в рамках интеллектуальной АСУТП..

В соответствие с [5] уровень интеллектуальности АСУТП в целом оценивается по величине условного коэффициента интеллектуальности, суть которого заключается в доли задач и функций АСУТП(m_{iII}), выполняемых с применением интеллектуальных технологий в общем объеме фактически выполняемых задач и функций АСУТП ($m_{i\Phi}$) на рассматриваемой уровне управления.

$$K_i = \frac{m_{iII}}{m_{i\Phi}}, \quad (1)$$

Внутри каждого иерархического уровня управления функции АСУТП и оптимизационные задачи распределяются на две группы:

1.1 – задачи и функции АСУТП, которые направлены на повышение качества управления технологическими процессами; 1.2 - оптимизационные задачи, решение которых непосредственно приводит к экономическому или энергетическому эффекту.

Коэффициент интеллектуальности АСУТП в целом оценивается по выражению

$$K_{АСУТП}^{II} = \sum_{i=1}^{i=3} (K_{i0}^{II} + \Delta K_i^{II}) \alpha_i = \sum_{i=1}^{i=3} \alpha_i \left[\left(\sum_{j=1}^{j=2} \beta_{j0} K_{j0}^{II} \right) + \left(\sum_{j=1}^{j=2} \beta_j \Delta K_i^{II} \right) \right], \quad (2)$$

где α_i – весовой коэффициент значимости i-го уровня управления в системе АСУТП станции. численные их значения зависят от целевого назначения поставленной задачи. Если цель интеллектуализации АСУТП заключается в поиске путей повышения экономической эффективности АСУТП, то приоритетным является стационарный уровень управления, так как основные оптимизационные задачи решаются на стационарном уровне и можно рекомендовать следующее распределение – стационарный уровень -0,6; блочный уровень 0,3 и нижний уровень - 0,1.

Коэффициент интеллектуальности АСУТП для i-го иерархического уровня управления определится по выражению

$$K_i^{II} = \sum_{j=1.1}^{j=1.2} (\beta_{ij0} K_{ij0}^{II} + \beta_{ij} \Delta K_{ij}^{II}), \quad (3)$$

где β_{j0}, β_j - весовые коэффициенты, отражающие относительную значимость факторов 1-й и 2-й групп на i-м уровне управления, $\beta_{j0} + \beta_j = 1$;

K_{ij0}^{II} - оценка исходного коэффициента интеллектуальности j-й группы i-го уровня управления, рассчитываемой по выражению

$$K_{ij0}^{II} = \sum_{m=1}^{m=M_i} \varphi_{mi} \phi_{mi} / \sum_{m=1}^{m=N} \varphi_{mi}, \quad (4)$$

и ΔK_{ij}^{II} – повышение значения коэффициента интеллектуальности j-й группы i-го уровня управления, рассчитываемый по выражению

$$\Delta K_{ij}^{II} = \sum_{l=1}^{l=L_j} \delta_{li} \phi_{li} / \sum_{l=1}^{l=V} \delta_{li} \quad (5)$$

здесь $m=1,2,\dots,M_i$, $l=1,2,\dots,L$ —число функций (задач) в j-й группе i-го уровня управления АСУТП в исходном и в модернизированном вариантах, в которых применяются интеллектуальные технологии; $\phi_{mi} \phi_{li}$ — условный коэффициент «внутренней» интеллектуальности при реализации m-й и l-й функций; $\varphi_{mi}, \delta_{li}$ - весовые коэффициенты значимости для данной конкретной функции, определяется аналитическим путем или задается экспертом, при этом

$$\sum_{m=1}^{m=N_i} \varphi_{mi} = 1,0; \sum_{l=1}^{l=V} \delta_{li} = 1,0.$$

В () $i=1,2,3$.- порядковый номер иерархического уровня управления –нижнего, блочного и станционного; $j=1.1,1.2$ –порядковый номер группы в каждом иерархическом уровне управления;

K_{ij}^I – коэффициент исходного уровня интеллектуальности АСУТП j -й группы на i -ом уровне

управления на базе ПТК; ΔK_{ij}^I – прирост коэффициента интеллектуальности АСУТП j -й группы на i -ом уровне управления за счет применения интеллектуальных технологий.

Решение поставленной задачи рассмотрим при следующих исходных условиях;

- заданы исходные уровни интеллектуальности 3-х уровневой АСУТП для каждого уровня и АСУТП в целом, а так же весовые коэффициенты значимости по группам задач и по иерархическим уровням управления;
- рассматривается станционный уровень управления с заданным составом решаемых оптимизационных задач в рамках интеллектуальной АСУТП;
- принимается, что добавление в состав решаемых задач станционного уровня еще одной оптимизационной задачи группы 1.2, целесообразность включения в состав решаемых задач которого оценивается, не влияет на коэффициенты весовой значимости α_i – иерархических уровней управления.

Алгоритм оценки целесообразности включения новой оптимизационной задачи следующий:

1. По выражению (1) определяется коэффициент интеллектуальности вновь вводимой задачи;
2. С учетом вновь вводимой задачи оцениваются новые значения: $\phi_{mi} \phi_{li}$ — значения: условных коэффициентов «внутренней» интеллектуальности при реализации m -й и l -й функций; $\varphi_{mi} \cdot \delta_{li}$ -весовые коэффициенты значимости для данной конкретной функции;
3. По выражению (3) определяется новый коэффициент интеллектуальности АСУТП для станционного уровня управления;
4. Если полученное значение коэффициента интеллектуальности станционного уровня выше, чем исходное его значение, то включение новой задачи целесообразно. Очевидно, что в таком случае при принятых условиях будет выше и коэффициент интеллектуальности АСУТП в целом.
5. Если полученное значение коэффициента интеллектуальности станционного уровня ниже, чем исходное его значение, то проверяется целесообразность включения задачи по значению коэффициента интеллектуальности АСУТП в целом. Для этого по выражению (2) с учетом полученного значения коэффициента интеллектуальности станционного уровня пересчитывается новое значение коэффициента по АСУТП в целом и в зависимости от полученного значения принимается соответствующее решение.

Хотя предлагаемая упрощенная методика оценки степени интеллектуальности и ее повышения на базе внедрения интеллектуальных технологий при управлении технологическими процессами содержит много условностей и не охватывает все разнообразие функций АСУ ТП, Вместе с тем приведенные расчеты убедительно показывают возможные пути модернизации АСУТП с целью их дальнейшей интеллектуализации.

Ниже рассматривается еще один подход - оценка технико-экономической эффективности разработки и внедрения интеллектуальной технологии или алгоритма. Для упрощения предлагаемого подхода принимается, что для рассматриваемого объекта имеется проект в рамках традиционной АСУТП на базе ПТК и ее экономические характеристики и оценивается их изменение при интеллектуализации части функций в рамках интеллектуальной АСУТП. Методика рассматривается применительно к разработке интеллектуального регулятора.

Понятно, что степень эффективности работы интеллектуального регулятора можно определить двумя основными критериями: интеллектом и надежностью. Интеллект, в свою очередь определяется возможностями системы выполнения логических задач высокой степени сложности, разработанных на базе оптимизированных алгоритмов управления объектом. Исходя из этого положения, можно утверждать, что степень эффективности регулятора находится в прямой зависимости от качества и точности автоматического ведения технологического процесса, максимально исключив при этом

вмешательство оперативного персонала как в работу системы, так и в сам процесс управления. Показатель надежности системы определяет возможность обеспечения живучести и безопасность технических и программных средств контроля и управления.

Степень эффективности разрабатываемой интеллектуальной системы должна базироваться на разнице количественных оценок затратной и прибыльной частях проекта, рассчитанных по отношению к «базовому» варианту регулятора в рамках традиционной АСУТП.

Критерий экономической эффективности $Z_{ЭЭ}$ зависит от реальных затрат на создание и внедрение Z_p и на последующую эксплуатацию системы $Z_{ЭК}$:

$$Z_{ЭЭ} = f(Z_p, Z_{ЭК}). \quad (6)$$

Показатель Z_p представляет собой сумма затрат, связанных с разработкой, проектированием, изготовлением, монтажом и вводом в эксплуатацию дополнительных технических средств и на разработку и внедрение программного обеспечения; показатель $Z_{ЭК}$ должен определяться из расчета дополнительных затрат на эксплуатацию технического и программного обеспечения системы (сервисное и ремонтное обслуживание, затраты электроэнергии и т.д.)

Следует полагать, что разница между автоматизированным режимом – условно оптимальным и дистанционным, зависящим от вероятных ошибок оператора и составит ту составляющую эффективности технологического процесса, в основании которого положены вышеназванные показатели.

Исходя из этого, в качестве критерия целесообразности разработки внедрения интеллектуальной системы регулирования с учетом рыночных условий работы станций, принимаем максимум разности указанных величин в варианте традиционной системы и системы с интеллектуальным управлением, $\Delta S_{ИС}$ т.е.

$$\Delta S_{ИС} = [П_{ИС}(\tau) - Z_{ИС}(\tau)] - [П_{ТР}(\tau) - Z_{ТР}(\tau)] \rightarrow \max. \quad (7)$$

где $П_{ТР}(\tau), П_{ИС}(\tau)$ -прибыль за рассматриваемое время прибыль за счет работы системы регулирования в традиционном и интеллектуальном исполнении; $Z_{ТР}(\tau), Z_{ИС}(\tau)$ -суммарные затраты на внедрение и эксплуатацию системы регулирования соответственно в традиционном и интеллектуальном исполнении.

Принимая, что прибыльная и затратная части для традиционной системы регулирования постоянные величины, максимум функции (7) будет соответствовать максимум величины

$$\Delta \bar{S}_{ИС} = [П_{ИС}(\tau) - Z_{ИС}(\tau)] \rightarrow \max \quad (8)$$

Затратная часть за определенный промежуток времени (например, за время жизненного цикла средств и на разработку и внедрение программного обеспечения системы интеллектуального регулятора; $\Delta Z_{ЭК}$ -годовые дополнительные ресурсные затраты на эксплуатацию технического и программного обеспечения интеллектуального регулятора (сервисное и ремонтное обеспечение, затраты электроэнергии и т.д.); τ - длительность рассматриваемого периода времени (число лет).

Проводя оценку целесообразности включения интеллектуальных технологий и оптимизационных алгоритмов (из множества возможных) в состав решаемых на станционном уровне задач по вышеприведенным методикам можно определить оптимальные состав решаемых задач и уровень интеллектуальности АСУТП станционного уровня управления в рамках интеллектуальной АСУТП ТЭС.

Заключение

Изложенные в докладе проблемы и возможные подходы к повышению интеллектуальности АСУТП ТЭС, построенных на базе ПТК путем интеграции в прикладное программное обеспечение ПТК оптимизационных задач блочного и станционного уровней. позволят значительно повысить эффективность и интеллектуальность АСУТП.

Предложенные методические подходы определения целесообразности включения интеллектуальных технологий и оптимизационных алгоритмов в состав решаемых на станционном уровне задач позволят определить оптимальный уровень интеллектуальности АСУТП верхнего уровня управления в рамках интеллектуальной АСУТП ТЭС.

Литература

1. *Биленко, В.А.* АСУТП как основа существенного повышения уровня автоматизации // Теплоэнергетика. – 2007. – №10. – С. 14-18.
2. *Даймант И.Н., Козловский В.Г., Лазарев В.И., Орешкин С.А., Спесивцев А.В.* Синтез интеллектуальных автоматизированных систем управления сложными ТП. Автоматизация промышленности. – Издательский дом: «ИнфоАвтоматизация».2013. – С.3-9
3. *Nikolay Amosov, Alexander Andryushin, Edik Arakelyan and Anatoliy Kosoy.* Industry 4.0 and basic principles of a new architecture for control of power plants processes// **Volume 44**, 2018 IV International Scientific Conference “The Convergence of Digital and Physical Worlds: Technological, Economic and Social Challenges” (CC-TEESC2018)
4. *Аракелян Э.К., Андриюшин А.В. Мезин С.В., Сабанин В.Р., Косой А.А.* Подходы к повышению интеллектуальности АСУТП крупных электростанций путем решения оптимизационных задач блочного и станционного уровней. // Сборник трудов MLSD’2018 под общей редакцией С.Н.Васильева, А.Д.Цвиркуна, – 2018. – Том 2. – С. 315-322.
5. *Arakelyan E.K., Andryushin A.V., Pashchenko F.F., Mezin S.V., Kosoy A.A.* Methodological provisions of the assessment of the increase degree in the intelligence of TPP ACS TP on the basis of modern PTC // 11th International Conference on Ambient Systems, Networks and Technologies, ANT 2020 / 3rd International Conference on Emerging Data and Industry 4.0, EDI40 2020 / Affiliated Workshops; Warsaw; Poland.
6. *Васильев, Е.Д.* Проблемы современных АСУ ТП на базе ПТК и возможный путь их решения / Э.К. Аракелян, Е.Д. Васильев, С.Р. Хуршудян // Вестник МЭИ. – 2014. – №1. – С. 15-20..