

13. Васильев, А. Й. Використання геліо- та вітроенергетичних комплексів для зниження техногенного навантаження в рекреаційних зонах [Текст] / А. Й. Васильев, В. В. Соловей, І. Емрі // Вісник Інженерної академії України. — 2014. — Вип. 1. — С. 209–214.
14. Sandrock, G. Applications of Hydrides [Text] / G. Sandrock // Hydrogen Energy System. — Springer Netherlands, 1995. — P. 253–280. doi:10.1007/978-94-011-0111-0_17

ПЕРСПЕКТИВИ ЕНЕРГО- І РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ НА ОСНОВІ ІНТЕГРАЦІЙНОЇ МОДЕЛІ РОЗВИТКУ ТЕРИТОРІАЛЬНО-ПРОМИСЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ

Розглянута методика визначення резервів енерго- і ресурсозбереження на основі інтеграційної моделі функціонування територіально-промислових комплексів. Для забезпечення стійкого функціонування промислових регіонів доцільно створення енергоекологічних комплексів, які використовують скидну теплоту та інші види відходів. Підвищення коефіцієнта технологічної інтеграції дозволить реалізувати маловідходне енергоефективне виробництво, що відповідає вимогам екологічної сумісності промислових об'єктів з навколишнім середовищем.

Ключові слова: енергетичні та матеріальні вторинні ресурси, інновації, індустріальний симбіоз, інтеграційні процеси.

Мацевитий Юрій Михайлович, академік НАН України, доктор технічних наук, директор, Інститут проблем машиностроєння ім. А. Н. Подгорного НАН України, Харків, Україна, e-mail: Admi@ipmach.kharkov.ua.

Соловей Віктор Васильевич, доктор технічних наук, професор, завідувачий відділом водородної енергетики, Інститут проблем машиностроєння ім. А. Н. Подгорного НАН України, Харків, Україна, e-mail: solovey@ipmach.kharkov.ua.

Васильев Анатолий Иосифович, доктор економічних наук, професор, заступник директора по науково-технічній діяльності, Інститут проблем машиностроєння ім. А. Н. Подгорного НАН України, Харків, Україна, e-mail: eau.7788982@gmail.com.

Мацевитий Юрій Михайлович, академік НАН України, доктор технічних наук, директор, Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, Харків, Україна.

Соловей Віктор Васильевич, доктор технічних наук, професор, завідувач відділу водневої енергетики, Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, Харків, Україна.

Васильев Анатолий Иосифович, доктор економічних наук, професор, заступник директора з науково-технічної діяльності, Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України, Харків, Україна.

Matsevity Yuriy, A. N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine, e-mail: Admi@ipmach.kharkov.ua.

Solovey Victor, A. N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine, e-mail: solovey@ipmach.kharkov.ua.

Vasilev Anatoliy, A. N. Podgorny Institute for Mechanical Engineering Problems of the National Academy of Sciences of Ukraine, Kharkiv, Ukraine, e-mail: eau.7788982@gmail.com

УДК 614.8.084

DOI: 10.15587/2312-8372.2014.34783

Годик В. А.,
Зенкин А. С.,
Тарадай В. И.

ОЦЕНКА РИСКА ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ ПУТЕМ СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ ПРЕДПРИЯТИЙ

В работе показана последовательность применения *systems engineering* для анализа возможных происшествий на промышленных предприятиях (ПП). Приводится наглядное представление структурно-логической декомпозиции ПП с выделением на каждом этапе основных компонентов (подсистем) и их связей. Выделена подсистема самоорганизации ПП и показана возможность влияния «отказа» в одной подсистеме к возникновению и развитию аварии в других.

Ключевые слова: системная инженерия, энергоэнтропийная концепция, подсистема, структурно-логическая декомпозиция, оценка рисков, промышленный ущерб.

1. Введение

Анализ и расчет технико-производственных рисков и ущербов особенно актуальны в настоящее время, когда высокая степень износа энергетического и технологического оборудования приводят к авариям с труднопредсказуемыми последствиями. Сложившаяся кризисная обстановка в вопросах аварийности и травматизма объясняется не только низкой культурой технологической дисциплины персонала, но и конструктивным несовершенством и большим износом промышленного оборудования [1]. Исследования по проблемам риска и производственной безопасности страдают, в первую очередь,

из-за отсутствия единой скоординированной методологии. Использование разных методик и критериев ведет к принятию неоптимальных решений, экономическим издержкам и неизбежному риску крупных аварий [1, 2].

Методология анализа риска аварий является основой декларирования промышленной безопасности. Однако, в практике встречаются ошибки при установлении критериев приемлемости рисков: попытки нормирования показателей риска без типизации источника опасности и неучет высокой дисперсии получаемых оценок. Единый подход может быть использован, если на начальных этапах исследования ПП рассматривается как сложная техногенная система.

Авторам предоставляется целесообразным наглядно показать последовательность декомпозиции промышленных предприятий на подсистемы и объяснить их взаимосвязи. Далее, среди всех подсистем выделить объекты повышенной опасности и основные факторы, влияющие на них. Установить, что и каким именно образом на ПП осуществляет функцию самоорганизации, обеспечивающую устойчивость и безопасность этого предприятия.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

В качестве основного научного метода при дальнейшем исследовании рисков и ущербов на промышленных предприятиях (ПП) будем использовать системную инженерию (systems engineering) и энергоэнтропийную концепцию [1], которая рассматривает происшествие как нежелательный выброс энергии или вредного вещества, которые накапливаются в технологических объектах. При этом ПП как система «человек — машина — среда» несет техногенный ущерб, как результат аварийного выброса, преобразования, распространения и разрушительного воздействия на ресурсы ПП (в т. ч. и человеческие).

В [1] указано, что какой-либо единой классификации сложных систем не существует. Однако, по мнению авторов данной работы, именно для технико-производственных рисков вполне допустимо использовать исторически сложившуюся классификацию ПП по отраслевому, ресурсному, технологическому признакам. Это позволяет установить однозначность понятий между разработчиками методики оценки рисков и производителями.

При этом, в качестве признаков классификации систем используют:

- природу классифицируемых объектов (функциональное назначение);
- состав, сложность или организованность;
- степень взаимодействия с окружающей средой;
- изменчивость во времени;
- характер реакции на внешние и внутренние возмущения [3].

Поэтому, следуя [1], будем рассматривать ПП как физическую (материальную), большую, гетерогенную, диссипативную, стохастическую систему, компоненты (подсистемы) и элементы которой объединены общностью:

- цели существования;
- функциональной среды;
- ресурсов и связей.

При этом система обладает свойствами и признаками, которые отсутствуют у ее элементов.

Рассмотрим укрупненную модель промышленного предприятия (ПП), приведенную на рис. 1.

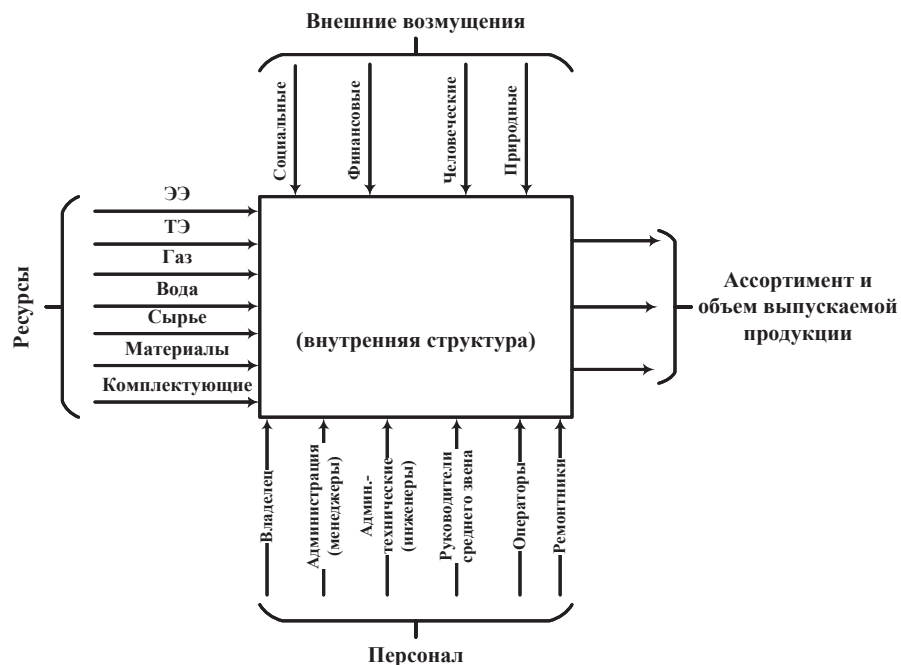


Рис. 1. Промышленное предприятие, как объект системного анализа

На начальном этапе исследования все предприятия одной отрасли могут быть сгруппированы по составу и объему ресурсов, ассортименту и объему выпускаемой продукции. Такое группирование в настоящее время производится практически на интуитивном уровне [4].

Поскольку отличительным свойством большой системы (т. е. ПП) служит ее размерность, — исследование без предварительной декомпозиции на подсистемы (целевые компоненты), объединенные общими функциями и ресурсом невозможно.

Следуя признакам «функция-ресурс» в ПП можно выделить:

- собственно, технологическую систему;
- систему электроснабжения (СЭС);
- систему теплоснабжения (СТС);
- систему водоснабжения (СВС) и т. п.

На рис. 1 обозначено: ЭЭ — электрическая энергия; ТЭ — тепловая энергия.

Как видно, исторически сложившаяся практика дала этим компонентам ПП название «система», подразумевая, что эти компоненты также являются достаточно сложными.

Если сопоставить предприятия, одинаковые по ассортименту и объему выпускаемой продукции, можно убедиться в отсутствии двух абсолютно одинаковых. Они будут отличаться составом и структурой своих компонентов (подсистем) хотя бы тем, что спроектированы, сооружены и запущены в действие в разные годы и, поэтому, в их подсистемах элементы отличаются друг от друга, несмотря на единство технологического процесса в целом. Поэтому возможности статистических методов анализа будут ограничены — в каждом конкретном случае придется доказывать представительность выборки [2, 5].

3. Цель и задачи исследования

Конечной целью исследования является получение объективных и достоверных оценок рисков и ущербов при рассмотрении ПП как сложных техногенных систем.

Это позволяет: выделить и типизировать источники опасности, конкретизировать негативные события и дифференцированно нормировать соответствующий риск. Целью данной работы является наглядная демонстрация полезности последовательной структурно-логической декомпозиции ПП, как объекта оценки рисков и ущербов.

Следуя [1], начальными этапами исследования считаем:

- обследование объекта и содержательная постановка задачи;
- концептуальная постановка задачи или семантическое (описательное) моделирование объекта.

Поставим задачу: показать возможность возникновения аварии на объектах повышенной опасности любого предприятия при нештатной (не обязательно аварийной) ситуации в одной из подсистем.

Поскольку в дальнейшем будут интересными технико-производственные риски, — объектами декомпозиции ПП будут функционально-структурные компоненты и их взаимосвязи через инженерные сети.

4. Полезность структурно-логической декомпозиции промышленных предприятий

Рассмотрим рис. 2, на котором выделены основные сервисные (обслуживающие производство) подсистемы, в числе которых, следуя [4], имеется подсистема самоорганизации.

Под подсистемой самоорганизации будем понимать соответствующее подразделение, обеспеченное ресурсами (человеческими, материальными, инструментальными, комплектующими), целью функционирования которой является противодействие возникновению и развитию аварийных ситуаций в других компонентах ПП. На советском и, частично, постсоветском пространстве эту функцию выполняла система планово-предупредительных ремонтов (ППР), которая поддерживалась службой охраны труда (ОТ), поскольку в ППР входит и человеческий ресурс.

Система ППР представляет собой комплекс организационно-технических мероприятий, проводимых в плановом порядке для обеспечения исправности и работоспособности оборудования, механизмов, машин, инженерных сетей в течение всего срока их службы при соблюдении заданных условий и режимов эксплуатации, носит предупредительный характер и основана на планировании ремонтов [3].

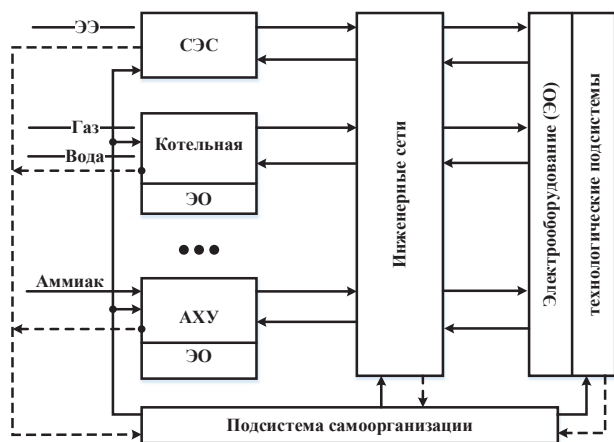


Рис. 2. Выделенные компоненты ПП в соответствии с поставленной задачей (ЭО — электрооборудование, пунктир — обмен информацией)

На рис. 2 пунктиром показано, что для функционирования ППР необходима информация, в первую очередь, о реальном техническом состоянии оборудования. Поскольку реальное состояние оборудования не контролировалось даже для особо ответственных агрегатов, — ППР приводила к тому, что по плану часто ремонтировалось оборудование, не требующее ремонта, а вышедшее из строя в это время, — ремонтировалось в аварийном порядке.

В мировой практике считается, что эволюцией системы ППР является Total Productive Maintenance (TPM), особенностью которого стало участие всего персонала в техническом обслуживании (ТО) и ремонте оборудования от операторов до руководства компанией. Однако, в [3] достаточно четко показано, что для внедрения TPM потребуется изменение в окружающей среде (социально-экономические) и менталитете работающих, т. е. должна произойти смена поколений, что требует достаточно много времени.

Следующим этапом эволюции системы ППР является система непрерывного мониторинга (СНМ) технического состояния особо ответственных элементов на объектах повышенной опасности [5]. Однако подобные системы являются дорогостоящими и на их быстрое внедрение надеяться не приходится.

Поэтому усилия подсистемы самоорганизации на фоне высокой степени износа основного оборудования ПП недостаточны и, с течением времени, степень риска и угроза аварийности и травматизма будут увеличиваться.

Особое внимание хотим обратить на СЭС. Она является единственной системой, которая связана со всеми другими компонентами ПП, поскольку в любой другой подсистеме имеется электрооборудование (рис. 3).

На рис. 3 отображена иерархия требований к элементам компонентов ПП.



Рис. 3. Иерархия требований к элементам компонентов (подсистем) ПП

Отметим, что иерархия требований ко всем элементам ПП (рис. 3) является одинаковой: двигатель, станок, агрегат, подсистема. Таким образом, параметры, которые характеризуют эти требования, являются универсальными и должны учитываться при оценке риска.

На этом фоне рассмотрим ситуацию, когда в СЭС выполняется, скажем, плановый ремонт силового трансформатора главной подстанции 110-220/6-10 кВ,

а в это время, под действием одного из внешних факторов, влияющих на техническое состояние (табл. 1), например, природного, происходит отключение 2-го независимого источника питания. При этом системы сигнализации, защиты, электроприводы на объектах повышенной опасности окажутся обесточены.

Таблица 1

Группы факторов, влияющих на техническое состояние ЭО

№ п/п	Группы факторов	Семантика факторов
1	Доэксплуатационные	1. Недостатки: – проектов; – конструкций; – изготовления 2. Дефекты: – транспортировки; – хранения на стройплощадке
2	Физико-химические процессы, обуславливающие «старение» ЭО	– тепловые (при повышении температуры t^0 8–10 °С ресурс изоляции снижается вдвое); – электрические (развитие «частичных» разрядов, микродефектов и дендритов в изоляции; – механические (разница в коэффициентах линейного и объемного расширения «проводник — изоляция»); – термомеханические напряжения и динамические усилия в обмотках трансформаторов при коротких замыканиях в сети; – коррозия металлов конструкций; – диффузия металлов подвижных контактов; – радиационное старение изоляции на АЭС; – капиллярный эффект «всасывания» влаги многослойной изоляцией; – окисление, увлажнение и загазованность трансформаторного масла; – старение фундаментов, ж/б опор и порталов
3	Природные	– землетрясения; – внезапные низкие температуры; – грозы, град, гололед; – ветровые нагрузки; – «сползание» грунтов; – наводнения, селевые потоки, лавины; – внезапные высокие температуры и влияние ультрафиолета на кабели в поливинилхлоридной изоляции, проложенные открыто
4	Взаимодействие и взаимосвязи с другими компонентами ПП *ТП — трансформаторная подстанция; ОРУ — открытое распределительное устройство; ВЛ — воздушная линия электропередачи	– затопление кабельных каналов, встроенных ТП*, щитовых при прорывах теплотрасс, водопровода, канализации и т. д.; – электрокоррозионное повреждение теплотрасс, водопровода при коротких замыканиях в электрических сетях, напряжением до 1000 В за счет их использования в качестве «естественных заземлителей»; – снижение поверхностного сопротивления изоляторов ОРУ* и ВЛ* при их загрязнении «промышленными выбросами»; – «вынос потенциала» на рабочие места ремонтников по старым «захороненным» подземным коммуникациям; – электромагнитная «несовместимость» электроустановок; – пожары

Окончание табл. 1

№ п/п	Группы факторов	Семантика факторов
5	Человеческие	1. Нарушение правил: – устройства электроустановок; – технической эксплуатации электроустановок; – безопасной эксплуатации электроустановок; – охраны электрических сетей. 2. Низкая квалификация персонала. 3. Психологические факторы. 4. Социально-экономические факторы
6	Биологические	– коты, собаки; – грызуны; – птицы, летучие мыши; – большие насекомые (богомолы, саранча); – степные гадюки

Среди факторов, влияющих на техническое состояние ЭО можно выделить следующие группы: доэксплуатационные; природные; человеческие; биологические; физико-химические, а также факторы взаимодействия и взаимосвязи со всеми компонентами ПП, рассмотрим более подробно, какие факторы характеризуют каждую группу.

Данные группы факторов получены нами по результатам анализа действующих «Правил» [6–8] и, вполне очевидно, подобные факторы могут быть выделены для других подсистем ПП и объектов повышенной опасности на базе соответствующих Правил.

На рис. 2 выделены такие объекты, как котельная и аммиачно-холодильная установка (АХУ), которые являются взрывопожароопасными объектами, а их ЭО зависит от текущего состояния СЭС.

В соответствии с [6, п. 4.1] для машинных (аппаратных) и конденсаторных помещений АХУ установлена категория «А» по взрывопожарной и пожарной опасности.

В этих помещениях [6, п. 4.2] обязательна установка индикаторов утечки (ИУ) и сигнализаторов аварийной концентрации (САК) аммиака $\delta(\text{NH}_3)$. ИУ должен давать предупредительную сигнализацию дежурному персоналу и включать вытяжную вентиляцию $\delta(\text{NH}_3) > 500 \text{ мг/м}^3$ (0,07 %).

При $\delta(\text{NH}_3) > 1500 \text{ мг/м}^3$ САК должен выключить электропитание всей АХУ, включить вытяжную и аварийную вентиляцию, светозвуковую сигнализацию, сирену типа ПВ-СС и табло над входом в машинное отделение.

Действия персонала при полном отсутствии электропитания в [9, 10] не оговариваются (очевидно, происшествие считается маловероятным) и, тем самым, потенциальная угроза аварии не устраняется.

Таким образом, показана существующая возможность аварии в одной подсистеме при внештатной ситуации в другой, а также проведена классификация факторов, влияющих на элементы СЭС.

5. Обсуждение результатов исследования ПП методом структурно-логической декомпозиции

Рассмотрение всех ПП конкретной отрасли, как сложных техногенных систем, позволяет дифференцировать

их на компактные группы (например, при помощи кластер-анализа) по основным признакам (рис. 1). Структурно-логическая декомпозиция позволяет установить взаимовлияние отдельных подсистем (в т. ч. и объектов повышенной опасности) друг на друга, благодаря чему удалось конкретизировать подсистему самоорганизации (ППР, ТРМ или СНМ). На любом предприятии эта подсистема выполняет функцию предотвращения аварий и обеспечения устойчивой работы всего ПП.

Полученные результаты позволяют наметить ход дальнейших исследований. Планируется установить группы влияющих факторов для объектов повышенной опасности, ранжировать эти факторы по частоте их воздействия и получить оценки дифференцированных рисков с учетом взаимовлияния компонентов ПП. Вполне понятно, что авария на АХУ холодопроизводительностью 105 кВт и АХУ на 8000 кВт имеют различные последствия и не могут иметь одинаковый норматив риска, поскольку реальные вероятности различаются в несколько раз.

6. Выводы

В результате рассмотрения ПП как сложных технологических систем и последующей структурно-логической декомпозиции показано:

- наличие подсистемы самоорганизации (ППР, ТРМ, СНМ), целью которой является обеспечение устойчивости ПП в целом (противодействие появлению аварийных ситуаций);
- возможность взаимного влияния одних компонентов (подсистем) ПП на другие;
- количество влияющих и взаимовлияющих факторов для СЭС достаточно велико, а с учетом объектов повышенной опасности возрастает еще больше. Поэтому, необходима группировка и ранжирование факторов по частоте воздействия.

Литература

1. Белов, С. Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере [Текст] / С. Г. Белов. — М.: Академия, 2003. — 512 с.
2. Зенкін, А. С. Якісна оцінка розпізнавання стану пожежобезпеки складних технічних об'єктів [Текст] / А. С. Зенкін, В. О. Годік, С. С. Федін, О. І. Ковальов // Вісник інженерної академії України. — 2010. — № 1. — С. 228–233.
3. Момот, А. И. Анализ существующих систем управления состоянием оборудования [Текст] / А. И. Момот, П. И. Самойлов, С. В. Гусева // Використання міжнародних стандартів ISO в цілях підвищення ефективності діяльності підприємств. — Донецьк: ДНТУ, 2010. — С. 32–36.
4. Кудрин, Б. И. Техногенная самоорганизация [Текст] / Б. И. Кудрин // Ценологические исследования. — М.: Центр системных исследований, 2004. — Вып. 25. — 248 с.
5. Асланян, А. Е. Забезпечення практичної безвідмовності функціонування газотурбінного двигуна при його експлуатації за технічним станом [Текст] / А. Е. Асланян, О. А. Бельська // Збірник наукових праць ДНДІ авіації. — К.: ДНДІ авіації, 2008. — Вып. 8. — С. 76–82.
6. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ) [Текст]. — Харків: Індустрія, 2008. — 424 с.
7. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів [Текст]. — Харків: Індустрія, 2012. — 320 с.
8. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів [Текст]. — Київ: Основа, 2007. — 384 с.
9. НАОП 8.1.00-1.04-90 (НПАОП 29.23-1.04-90) Правила устроювання та безпечної експлуатації амміачних холодильних установок [Текст]. — Утверждены 27.09.90. — Х., 1990. — 80 с.
10. Годик, В. А. Качественная оценка влияния природных факторов на электротехнические подсистемы объектов повышенной опасности [Текст] / В. А. Годик // Вестник КНУТД. — 2014. — № 5(79). — С. 81–85.

ОЦІНКА РИЗИКІВ ПРОМИСЛОВИХ ОБ'ЄКТІВ ШЛЯХОМ СТРУКТУРНО-ЛОГІЧНОЇ ДЕКОМПОЗИЦІЇ ПІДПРИЄМСТВ

В роботі показано послідовність використання systems engineering при аналізі можливих випадків на промислових підприємствах. Наводиться наочне представлення структурно-логічної декомпозиції промислових підприємств з виокремленням на кожному етапі основних компонентів (підсистем) та їхніх зв'язків. Виділено підсистему самоорганізації промислових підприємств та показана можливість впливу «відмови» в одній підсистемі до виникнення та розвитку аварій в інших.

Ключові слова: системна інженерія, енергоентропійна концепція, підсистема, структурно-логічна декомпозиція, оцінка ризиків, промисловий збиток.

Годик Вікторія Алексеевна, асистент, соискатель, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, e-mail: ntsaknutd@gmail.com.

Зенкін Анатолій Семенович, доктор технічних наук, професор, академик Української технологічної академії, президент Асоціації технологів-машинотворителів України, заслужений діяч науки і техніки України, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна, e-mail: as-zenkin@yandex.ru.

Тарадай Віктор Іванович, кандидат технічних наук, доцент, науковий консультант в сфері енергетики, енергозбереження і промислової безпеки, ООО «НИК», Київ, Україна, e-mail: vtaraday2014@gmail.com.

Годік Вікторія Олексіївна, асистент, здобувач, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Зенкін Анатолій Семенович, доктор технічних наук, професор, академик Української технологічної академії, президент Асоціації технологів-машинобудівників України, заслужений діяч науки і техніки України, кафедра метрології, стандартизації та сертифікації, Київський національний університет технологій та дизайну, Україна.

Тарадай Віктор Іванович, кандидат технічних наук, доцент, науковий консультант в галузі енергетики, енергозбереження та промислової безпеки, ТОВ «НИК», Київ, Україна.

Godik Victoria, Kyiv National University of Technologies and Design, Ukraine, e-mail: ntsaknutd@gmail.com.

Zenkin Anatoliy, Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine, e-mail: as-zenkin@yandex.ru.

Taraday Victor, LLC «NIK», Kyiv, Ukraine, e-mail: vtaraday2014@gmail.com