

¹Младший научный сотрудник кафедры программных средств Запорожского национального технического университета, Запорожье, Украина

²Ведущий инженер кафедры программных средств Запорожского национального технического университета, Запорожье, Украина

³Канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры программных средств Запорожского национального технического университета, Запорожье, Украина

МЕТОД ФОРМИРОВАНИЯ ОБЪЕМА РАБОТ ДЛЯ ПРОГРАММ ИСПЫТАНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА

Актуальность. Снижение затрат процесса испытаний может быть достигнуто за счет рационального планирования всех работ и оптимального распределения ресурсов. Одним из основных документов, регламентирующих цель и задачи испытаний, объем, порядок и методы проведения работ, является программа испытаний, процесс создания которой представляется как последовательность взаимосвязанных задач. В виду высоких затрат материальных и нематериальных ресурсов повышение качества проведения испытаний возможно за счет обоснованного выбора объема работ и контролируемых переменных. Объектом исследования является процесс испытаний сложных технических систем. Предметом исследования – методы сбора и анализа параметров работы, контролируемых в процессе испытаний сложной технической системы.

Цель работы – разработка метода формирования объема работ для программ испытаний сложных технических систем.

Метод. На основе разработанной ранее теоретико-множественной модели программы испытаний получен метод формирования объема работ для программы испытаний сложных технических систем, основанный на комбинации прямого логического вывода для формирования множества контролируемых параметров и нечетком логическом выводе для композиции работ, проведение которых целесообразно за один запуск сложной технической системы. Комбинация различных видов работ позволяет снизить прямые затраты и уменьшить стоимость процесса испытаний.

Результаты. Разработанный метод апробирован для испытаний газотурбинных установок наземного применения. В соответствии с классификацией затрат на процесс испытаний, использование метода формирования работ для программы испытаний позволило снизить затраты на ресурсы труда, капитала и альтернативные ресурсы, за счет сокращения количества экспериментов для подтверждения работоспособности газотурбинной электростанции.

Выводы. Разработанный метод формирования объема работы для программы испытаний сложных технических систем позволяет комбинировать работы, которые возможно выполнить за один запуск сложной технической системы. Применение разработанного метода позволило снизить затраты процесса испытаний за счет уменьшения времени и трудозатрат на создание программы испытаний, а также снижения количества запусков газотурбинной установки наземного применения при увеличении объема проведенных исследований за один запуск.

Ключевые слова: газотурбинные установки наземного применения, программа испытаний, контролируемые параметры, объем работ, нечеткий логический вывод, затраты.

НОМЕНКЛАТУРА

ГТП – газотурбинный привод;

ГТУ НП – газотурбинная установка наземного применения;

САУ – система автоматизированного управления;

СТС – сложная техническая система;

A^{CV^*} – матрица отношений, отражающая попарные сравнения количества совпадающих элементов в подмножествах CV_i^* и CV_j^* ;

$a_{ij}^{CV^*}$ – элемент матрицы A^{CV^*} ;

Alt – множество альтернативных ресурсов для всех работ из подмножества $Work$;

Alt_i – альтернативные ресурсы для работы $work_i$;

$Behavior = \{behavior_p, \dots, behavior_n\}$ – подмножество, содержащее диапазоны режимов работы СТС, на которых должны быть проведены соответствующие проверки, где n – число работ;

$Controlled\ variable = \{cv_1, \dots, cv_m\}$ – подмножество информативных (значимых) параметров работы СТС, где m – количество параметров;

$Cost = \{cost_p, \dots, cost_n\}$ – подмножество, содержащее затраты на проведение соответствующих работ, где n – число работ;

$cost'_i$ – минимизированные затраты на проведение работы $work_i$;

CV^* – обобщающее множество параметров работы, которые необходимо контролировать при выполнении всех работ из подмножества $Work$;

CV_i^*, CV_j^* – подмножества множества CV^* , содержащие достаточное количество контролируемых параметров, характеризующих эффективность работ $work_i$ и $work_j$ соответственно;

G – база предикативных правил;

$Goal$ – цель испытаний;

K – множество ресурсов капитала для всех работ из подмножества $Work$;

K_i – ресурсы капитала для работы $work_i$;

L – множество ресурсов труда для всех работ из подмножества $Work$;

L_i – ресурсы труда для работы $work_i$;

M^{uA} – матрица функций принадлежности;

Obj – подмножество, описывающее объект испытаний;

r_i – цены ресурсов капитала K_i ;

$R_{work} \rightarrow CV$ – отношение, которое для каждой работы $work_i$ ставит в соответствие подмножество CV_i^* ;

Sim – матрица, содержащая отдельные степени принадлежности sim_{ij} ;

$Span$ – подмножество, содержащее диапазоны допустимых значений контролируемых параметров;

$Time = \{time_1, \dots, time_n\}$ – подмножество, содержащее время на проведение соответствующих работ, где n – число работ;

TP – теоретико-множественная модель программы испытаний;

$T(CV^*)$ – нечеткий терм;

u_i – цены альтернативных ресурсов Alt_i ;

Var – множество, содержащее все измеряемые и контролируемые САУ параметры работы СТС;

$Verification$ – кортеж, описывающий проверки (работы), которые необходимо провести в процессе испытаний;

w_i – цены ресурсов труда L_i ;

$Work = \{work_1, \dots, work_n\}$ – подмножество, содержащее перечень (наименование) проверок (работ), где n – число работ;

$work_k^*$ – подмножество множества $Work^*$, содержащего перечень скомпонованных работ, где k – число запусков СТС;

ε – количество совпадающих элементов в паре сравниваемых подмножеств CV_i^* и CV_j^* ;

$\mu_A(a_{ij}^{CV^*})$ – функция принадлежности $a_{ij}^{CV^*}$ нечетким термам $T(CV^*)$;

$\mu_{Rnm}(work_n, cv_m)$ – характеристическая функция, принимающая значения 0 или 1 в зависимости от соответствия параметра cv_m рассматриваемой работе $work_n$.

ВВЕДЕНИЕ

Процесс испытаний позволяет объективно установить соответствие показателей качества продукции требованиям нормативной документации, выявить фактические значения этих показателей, проверить, удовлетворяет ли продукция требованиям стандартов, сравнить качество изделий с качеством аналогов, подтвердить их надежность и безопасность [1].

Эффективное управление всем процессом испытаний сложных технических систем (СТС) в первую очередь зависит от рационального планирования всех работ и оптимального распределения ресурсов [2].

Проведение испытаний СТС и их узлов сопряжено с очень большими затратами. Затраты производства могут быть представлены как ценность израсходованных ресурсов в фактических ценах их приобретения [3].

Поскольку избежать этих затрат невозможно, надо особое внимание уделить этапу планирования испытаний при этом повышая их информативность, т.е. увеличивать объем, точность, достоверность результатов и сведений, получаемых в результате проведения каждой экспериментальной работы. Увеличивая объем измерений, можно получить дополнительную информацию и в одном и том же испытании выполнить несколько различных исследований [4].

Одним из основных документов, регламентирующих цель и задачи испытаний, объем, порядок и методы проведения работ, является программа испытаний [5].

Процесс создания программы испытаний может быть представлен как последовательность взаимосвязанных задач:

– идентификация объекта испытаний, определение цели и задач испытаний;

– определение порядка проведения испытаний и их обеспечения (распределение и использование материальных, временных и людских ресурсов);

– уточнение объема работ и их последовательности, определение оцениваемых характеристик и расчетных соотношений, методик испытаний;

– описание порядка обработки полученных результатов;

– определение формы и порядка отчетности.

Решение вышеперечисленных задач должно быть отражено в программе испытаний.

Объектом исследования является процесс испытаний сложных технических систем.

Предметом исследования – методы сбора и анализа параметров работы, контролируемых в процессе испытаний СТС.

Целью данной работы является разработка метода формирования объема работ для программ испытаний СТС.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При определении объема работ с формированием перечня необходимых проверок и контролируемых характеристик (параметров работы) необходимо учитывать следующее:

– процессы, протекающие в СТС, разнообразны и в тоже время взаимозависимы и случайны, что существенно усложняет их исследование и определение корреляционных связей между параметрами рабочего процесса;

– задача еще более усложняется при исследовательских испытаниях, во время которых ведется отработка конструктивных нововведений, взаимная работа которых до этого не исследовалась, что вносит дополнительную неопределенность контролируемых переменных;

– в виду высоких затрат материальных и нематериальных ресурсов повышение качества проведения испытаний возможно за счет обоснованного выбора объема работ и контролируемых переменных.

Теоретико-множественная модель программы испытаний может быть представлена в следующем виде:

$$TP = \langle Obj, Goal, Verification, Controlled\ variable, Span \rangle, (1)$$

где подмножество $Verification$ может быть представлено кортежем:

$$Verification = \langle Work, Behavior, Cost, Time \rangle. (2)$$

Подмножество $Cost$ представляет собой затраты на проведение соответствующих работ. Различают затраты в длительном периоде и в коротком периоде. В рамках данной работы рассмотрим затраты для процесса испытаний СТС в течение короткого периода, т.е. краткосрочные затраты.

В течение короткого периода неизменными считаются производственные мощности предприятия, а их использование может изменяться за счет изменения объема переменных факторов (числа обрабатываемых человека-часов, расхода сырья и материалов и т.д.) [3].

Наипростейший способ формирования множества *Controlled variable* включить в него все измеряемые и контролируемые системой автоматизированного управления (САУ) параметры (аналоговые и дискретные сигналы от контрольно-измерительной аппаратуры), которые используются для управления работой СТС. Однако, полученное в результате множество будет с одной стороны избыточным за счет наличия неинформативных параметров работы, а с другой стороны – недостаточным, т.к. будут отсутствовать расчетные параметры работы, в том числе временные показатели (например, для газотурбинной электростанции такие параметры как «время восстановления частоты и напряжения сети при мгновенном сбросе/набросе нагрузки», которые характеризуют качество вырабатываемой электрической энергии).

Поэтому были поставлены следующие задачи:

- определить множество контролируемых характеристик (параметров работы) СТС в процессе испытаний;
- разработать метод формирования объема работ для программ испытаний СТС.

2 ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Структуры и содержание программ испытаний изделий различных видов и назначения изложены в нормативных материалах и соответствующих государственных стандартах на программы и методики испытаний конкретных изделий. В целом для СТС применимы стандарты ГОСТ 15.309, ДСТУ ГОСТ 15.001 [6–7], регламентирующие разработку, испытания, приемку и постановку на производство продукции производственно-технического назначения. Также для конкретных видов СТС правила приемки представлены стандартами на соответствующие технические условия, например ГОСТ 28775, ГОСТ 29328 [8-9]. Данные стандарты описывают виды испытаний, в общих чертах требования к объему необходимых проверок, что впоследствии берется за основу при написании программ испытаний.

При определении множества контролируемых параметров необходимо провести рациональный и критический анализ данных. Для этого могут быть использованы различные методы анализа данных. Знания, которыми располагает человек, в какой-то степени всегда неполны, приближенны, ненадежны. Тем не менее, на основе таких знаний удается делать достаточно обоснованные выводы и принимать решения. Для решения такой проблемы применимы различные подходы: нейронные сети, data mining, нечеткая логика и др. [10–12].

Для формирования объема работ была выбрана нечеткая логика, основным отличием которой является введение лингвистических переменных (субъективных категорий), в качестве значений (термов) которых выступают нечеткие множества. Математическая теория нечетких множеств позволяет описывать нечеткие понятия и знания, оперировать ими и делать нечеткие заключения. Нечеткое управление оказывается особенно полезным, когда исследуемые процессы слишком сложны для анализа с помощью общепринятых методов или доступные источники информации интерпретируются лишь качественно, неточно или неопределенно [13–14].

3 МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для уменьшения стоимости процесса испытаний необходимо снижение прямых затрат за счет комбинации различных видов работ. Рассмотрим метод определения оптимального объема работ и формирования множества контролируемых параметров [15].

На вход системы поступает множество *Var*, содержащее все измеряемые и контролируемые САУ параметры работы СТС.

На первом этапе формируется множество информативных (значимых) параметров работы СТС *Controlled variable*, которое будет включать как измеряемые, так и расчетные параметры работы СТС.

Далее на втором этапе определяется перечень работ, которые необходимо выполнить в процессе испытаний СТС, для чего формируется множество *Verification*, представленное формулой (2).

При формировании подмножества *Cost* примем, что для каждой *i*-ой работы процесса испытаний используются ресурсы труда L_i , капитала K_i и альтернативные ресурсы Alt_i , цены которых w_i , r_i и u_i заданы, тогда общие затраты предприятия для каждой из работ процесса испытаний могут быть представлены простым тождеством:

$$cost_i \equiv w_i L_i + r_i K_i + u_i Alt_i \quad (3)$$

При этом цены альтернативных ресурсов u_i будут рассматриваться как ценность других благ, которые можно было бы получить при наиболее выгодном из всех возможных альтернативных направлений их использования [3].

На третьем этапе для каждой из работ $work_i$ подмножества *Work* необходимо поставить в соответствие подмножество $CV_i^* \subseteq Controlled\ variable$, которое бы включало достаточное количество контролируемых параметров, характеризующих эффективность работы исследуемого объекта (системы, агрегата, процесса и т.д.) во время испытаний [16]. Например, для определения эффективности работы системы вентиляции такой СТС как газотурбинная установка наземного применения (ГТУ НП) такие параметры как «Давление масла на входе в ГТП» или «Расход топливного газа» не являются информативными в отличие от параметров «Температура воздуха в контейнере отсека ГТП» и «Температура наружного воздуха».

Для этого была сформирована база предикативных правил *G*, которая для каждой из возможных работ, проводимых при испытаниях СТС, содержит правила вывода типа «ЕСЛИ – ТО».

С помощью системы продукций, используя правило вывода *modus ponens*, было сформировано отношение

$$R_{work \rightarrow CV} = \begin{matrix} & cv_1 & \dots & cv_m \\ \begin{matrix} work_1 \\ \vdots \\ work_n \end{matrix} & \left| \begin{matrix} \mu_{R_{11}}(work_1, cv_1) & \dots & \mu_{R_{1m}}(work_1, cv_m) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \mu_{R_{n1}}(work_n, cv_1) & \dots & \mu_{R_{nm}}(work_n, cv_m) \end{matrix} \right. & \end{matrix}, \quad (4)$$

Тогда обобщающее множество параметров работы установки CV^* , которые необходимо контролировать при выполнении всех работ из подмножества *Work* можно представить в следующем виде:

$$CV^* = \begin{pmatrix} CV_1^* \\ \vdots \\ CV_n^* \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Композиція робіт із підмножества *Work* дозволить скоротити кількість запусків СТС в процесі испытаний.

Для цього необхідно визначити елементи яких із підмножеств CV_i^* приблизно рівні друг другу, що може свідечувати про цілесобразності спільного проведення даних робіт за один запуск. Іменно суб'єктивність лінгвістического критерія «приблизно рівні» і являється той неопределенністю, котра послужила передпосылкой к використанню нечеткого логического вывода.

На четвертом етапі попарні порівняння кількості збігаючих елементів в підмножествах CV_i^* і CV_j^* представляємо матрицею відношень $A^{CV^*} = \{a_{ij}^{CV^*}\}$ при

$$a_{ij}^{CV^*} = \frac{\varepsilon}{\min(|CV_i^*|, |CV_j^*|)}. \quad (6)$$

При цьому матриця A^{CV^*} буде симетрична відносно головної діагоналі, тому достатньо представлення тільки половини матриці.

На п'ятому етапі реалізований нечіткий логічний вывод. Для введення нечіткості визначаємо співвідношення кількості збігаючих елементів для всіх можливих комбінацій пар підмножеств CV_i^* і $CV_j^* \subseteq CV^*$ з допомогою нечітких термів $T(CV^*) = \{ \text{низкое совпадение, среднее совпадение, высокое совпадение} \}$.

Далі для кожного визначеного елемента матриці $a_{ij}^{CV^*}$ із верхнього трикутника експертними методами задаються $\mu_A(a_{ij}^{CV^*}) \in [0, 1]$ функції належності нечітким термам $T(CV^*)$. Таким чином, буде сформована матриця функцій належності $M^{\mu_A} = \{ \mu_A(a_{ij}^{CV^*}) \}$.

Логічний вывод здійснюється з використанням бази правил нечіткого вывода G' .

Оскільки допускається застосування декількох нечітких правил, в системі передбачено блок агрегування, формуючий на виході системи матрицю $Sim = \{sim_{ij}\}$, де sim_{ij} – окремі ступені належності [17].

Ісходя з лінгвістических значень sim_{ij} всі роботи, для котрих контролюються параметри, що містяться в підмножествах CV_i^* і CV_j^* , мають «високе співпадіння» і рівні режими роботи СТС, на котрих повинні бути проведені відповідні перевірки, рекомендується к проведенню за один запуск. Тоді буде справедлива запись:

IF $sim_{ij} = \text{“ВЫСОКОЕ совпадение”}$ AND $behavior_i = behavior_j$ THEN $work_i \in work_k^*$ AND $work_j \in work_k^*$ [17].

Полагаючи ціни ресурсів в короткому періоді незмінними, можна утверждать, що зниження затрат можливо за рахунок зменшення кількості використовуваних ресурсів [3]. Тоді композиція робіт з умовою мінімізації кількості запусків в кінцевому рахунок приведе до зменшенню затрат на проведення испытаний за рахунок зменшення кількості всіх використовуваних ресурсів L , K і

Alt. Тому з урахуванням формули (3) буде справедлива запись:

$$cost'_i = \arg \min (cost_i) \equiv w_i \arg \min (L_i) + r_i \arg \min (K_i) + u_i \arg \min (Alt_i). \quad (7)$$

4 ЕКСПЕРИМЕНТЫ

Даний метод був опробован на етапі планування испытаний знову створюваної модифікації газотурбинної електростанції ЭГ-6000, виробництва АО «МОТОР СІЧ». На основі розробленої моделі програми испытаний (1) і методу формування об'єму робіт була сформована програма дослідницьких испытаний для даної електростанції.

Кількість контролюваних САУ входних і вихідних аналогових і дискретних сигналів складає порядку 600 найменувань (це сигнали, використовувані для управління роботою установки). Було виділено 95 інформативних (значимих) параметрів роботи електростанції з формуванням множини *Controlled variable*. Визначено 19 робіт, необхідних к проведенню в процесі дослідницьких испытаний, інформація про котрих була внесена в множину *Verification*.

Було побудовано відношення $R_{work \rightarrow CV}$, на основі котрого сформовано ітогове множину CV^* , в котрому кожне із 19 підмножеств CV_i^* містить достатню кількість контролюваних параметрів, що характеризують ефективність кожної із 19 робіт $work_i$.

На наступному етапі роботи методу були проведені попарні порівняння кількості збігаючих елементів в усіх підмножествах CV_i^* і сформована матриця відношень A^{CV^*} розмірністю 19x19, елементи котрої розраховані по формулі (5).

Далі була отримана матриця $M^{\mu_A} = \{ \mu_A(a_{ij}^{CV^*}) \}$, елементи котрої визначені як трикутні функції належності елементів матриці A^{CV^*} нечітким термам $T(CV^*)$, при $\mu_A(a_{ij}^{CV^*}) \in [0, 1]$.

З використанням бази правил нечіткого вывода сформована матриця частних ступенів порівняння $Sim = \{sim_{ij}\}$, на основі котрої були виділені роботи, рекомендовані к спільному проведенню за один запуск ГТУ НП.

5 РЕЗУЛЬТАТЫ

Застосування розробленого методу формування об'єму робіт для програми испытаний дозволило скоротити кількість експериментів (перевірок) для підтвердження работоспособности функціональних систем ГТУ НП і правильності прийнятих конструктивних рішень до 17 при зменшенні кількості запусків з взяттям навантаження електростанції до 9.

Для процесу испытаний ГТУ НП сукупні затрати можна розділити як показано на рис. 1.

Ввиду того, що в рамках даної роботи були розглянуті затрати в короткому періоді, то Косвенні затрати в формі Капітальних витрат (рис.1) процесу испытаний ГТУ НП в увагу не бралися.

Таким образом, были снижены затраты на проведение процесса испытаний ГТУ НП за счет снижения ресурсов труда L в качестве уменьшения трудозатрат на проведение испытаний, за счет снижения количества запусков снижено использование ресурсов капитала K (материалов) и альтернативных ресурсов Alt в качестве уменьшения выработки собственного ресурса работы ГТУ НП (снижено количество часов наработки за весь цикл испытаний).

6 ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 приведена оценка результатов применения метода формирования объема работ для программы испытаний.

Применение данного метода формирования объема работ позволило сократить время и трудозатраты на создание программы испытаний на 37,5%, а также скомпановать выделенные работы и сократить количество планируемых экспериментов на 11% при уменьшении пусков на 19%, что привело к снижению всех используемых ресурсов.

Дальнейшее направление работы будет также посвящено этапу планирования испытаний СТС, в частности автоматизации процесса создания графиков проведения испытаний, подбора квалифицированного персонала и т. д.

ВЫВОДЫ

Работа посвящена решению задачи определения объема работ в процессе испытаний с формированием перечня контролируемых параметров.

На основе разработанной ранее теоретико-множественной модели программы испытаний, содержащей множество проверок (работ) *Verification*, которые необходимо провести в процессе испытаний и множество контролируемых параметров *Controlled variable*, был разработан метод формирования объема работ для программы испытаний СТС.

Научной новизной работы является разработанный метод формирования объема работ для программы испытаний сложной технической системы, который в отличие от существующих основан на комбинации пря-

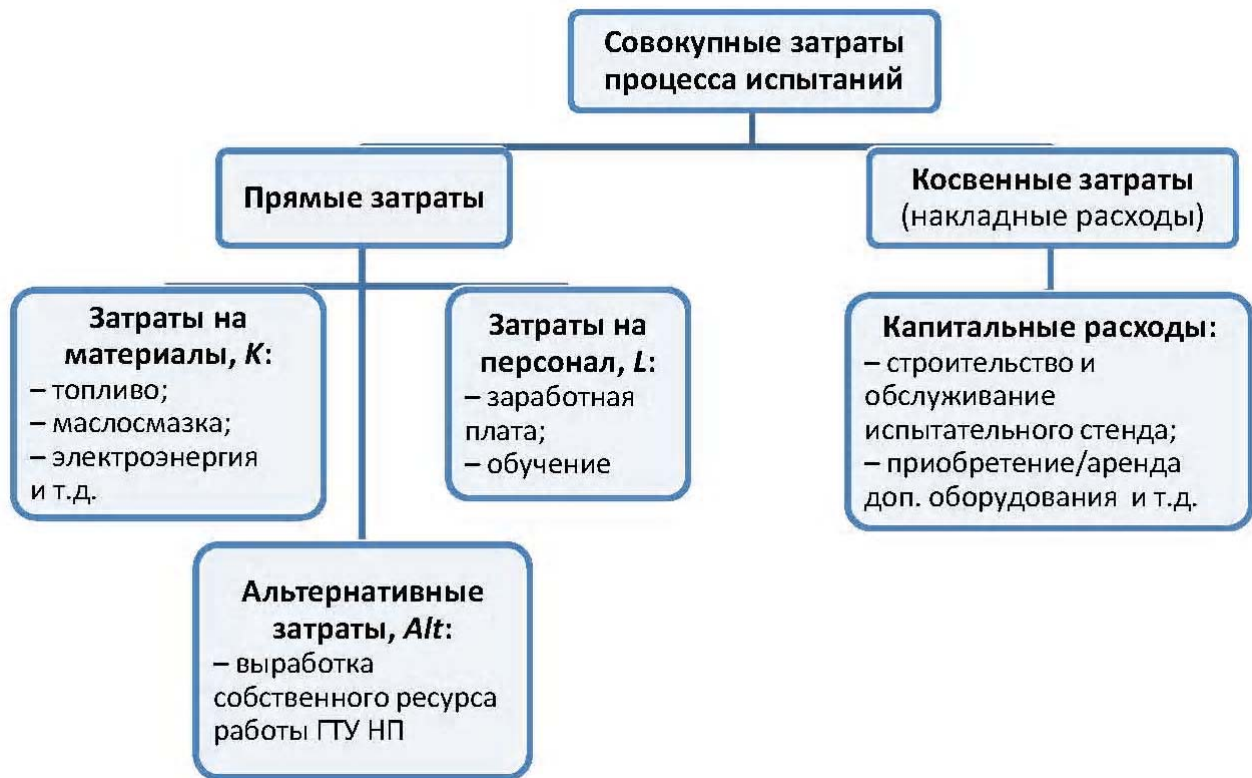


Рисунок 1 – Совокупные затраты процесса испытаний ГТУ НП

Таблица 1 – Сравнительная оценка результатов применения метода формирования объема работ для программы испытаний

Критерии сравнения	До применения метода	После применения метода
Время создания программы испытаний, дней	20	12,5
Трудозатраты на создание программы испытаний, чел./ч	160	100
Общее количество экспериментов (проверок) проводимых в процессе исследовательских испытаний	19	17
Количество экспериментов (проверок) с запуском электростанции и взятием нагрузки	11	9

мого логического вывода и нечеткого логического вывода, что позволило сформировать множество контролируемых параметров и осуществить композицию работ, которые целесообразно провести за один запуск СТС.

Практическая ценность данной работы заключается в том, что применение разработанного метода позволило снизить затраты процесса испытаний за счет уменьшения времени и трудозатрат на создание программы испытаний, а также снижения количества запусков ГТУ НП при увеличении объема проведенных исследований за один запуск.

Данный метод был апробирован для планирования испытаний газотурбинной электростанции.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена в рамках госбюджетной научно-исследовательской темы Запорожского национального технического университета «Інформаційна система діагностики розподіленіх мінікомп'ютерних систем в багатоконпонентному зовнішньому середовищі» (номер государственной регистрации 0117U000615) и при поддержке международного проекта Erasmus + Internet of Things: Emerging Curriculum for Industry and Human Applications ALIOT573818-EPP-1-2016-1-UK-EPPKA2-CBHE-JP.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Handbook of Performability Engineering / [ed.: Krishna B. Misra]. – London : Springer-Verlag London Limited, 2008. – 1295 p. DOI 10.1007/978-1-84800-131-2.
2. Шитикова Е. В. Метод управления неопределенностью в условиях ограниченных ресурсов / Е. В. Шитикова, Г. В. Табунщик // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2015. – № 2(33). – С. 87–95. DOI: 10.15588/1607-3274-2015-2-11.
3. Гальперин В. М. Микроэкономика / В. М. Гальперин, С. М. Игнатьев, В. И. Моргунов. – Т.1. – СПб. : Экономическая школа, 2004. – 349 с.
4. Теоретические основы испытаний и экспериментальная обработка сложных технических систем : учебное пособие / [Л. Н. Александровская, В. И. Круглов, А. Г. Кузнецов и др.]. – М. : Логос, 2003. – 736 с.
5. Випробування і контроль якості продукції. Терміни та визначення : ДСТУ 3021–95. – [Чинний від 1996-01-01]. – К. : Держстандарт України, 1995. – 74 с. – (Національний стандарт України).
6. Система разработки и постановки продукции на производство. Испытания и приемка выпускаемой продукции. Основные положения : ГОСТ 15.309-98. – [Дата введения

Шитікова О. В.¹, Табунщик С. С.², Табунщик Г. В.³

¹Молодший науковий співробітник кафедри програмних засобів Запорізького національного технічного університету, Запоріжжя, Україна

²Провідний фахівець кафедри програмних засобів Запорізького національного технічного університету, Запоріжжя, Україна

³Канд. техн. наук, доцент, професор кафедри програмних засобів Запорізького національного технічного університету, Запоріжжя, Україна

МЕТОД ФОРМУВАННЯ ОБСЯГУ РОБІТ ДЛЯ ПРОГРАМ ВИПРОБУВАНЬ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОГО ВИВЕДЕННЯ

Актуальність. Зниження витрат процесу випробувань може бути досягнуто за рахунок раціонального планування всіх робіт і оптимального розподілу ресурсів. Одним з основних документів, що регламентує мету і завдання випробувань, обсяг, порядок і методи проведення робіт, є програма випробувань, процес створення якої представляється як послідовність взаємопов'язаних завдань. У зв'язку зі значними матеріальними і нематеріальними витратами ресурсів, підвищення якості проведення випробувань можливо за рахунок обґрунтованого вибору обсягу робіт і контрольованих змінних. Об'єктом дослідження є процес випробувань складних технічних систем. Предметом дослідження – методи збору та аналізу параметрів роботи, що контролюються під час випробувань складних технічних систем.

Мета роботи – розробка методу формування обсягу робіт для програм випробувань складних технічних систем.

Метод. Розроблено метод формування обсягу робіт для програми випробувань складних технічних систем, заснований на комбінації прямого логічного виведення для формування множини параметрів, що контролюються і нечіткому логічному виведення для композиції робіт, проведення яких доцільно за один запуск складної технічної системи. Комбінація різноманітних видів робіт дозволяє знизити прямі витрати та зменшити вартість процесу випробувань.

01.01.2000]. – М. : Стандартинформ, 2008. – 16 с. – (Межгосударственный стандарт).

7. Система розроблення та поставлення продукції на виробництво : ДСТУ ГОСТ 15.001:2009. – [Чинний від 2009-02-01]. – К. : Держстандарт України, 2009. – 9 с. – (Національний стандарт України).
8. Агрегаты газоперекачивающие с газотурбинным приводом. Общие технические условия : ГОСТ 28775-90. – [Дата введения 01.01.1992]. – М. : Стандартинформ, 2005. – 11 с. – (Межгосударственный стандарт).
9. Установки газотурбинные для привода турбогенераторов. Общие технические условия : ГОСТ 29328-92. – [Дата введения 01.01.1993]. – М. : ИПК Издательство стандартов, 2004. – 12 с. – (Межгосударственный стандарт).
10. Parallel computing system resources planning for neuro-fuzzy models synthesis and big data processing / [A. Oliinyk, S. Skrupsky, S. Subbotin et al.] // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2016. – Vol. 4. – P. 61–69. DOI: 10.15588/1607-3274-2016-4-8.
11. The model for estimation of computer system used resources while extracting production rules based on parallel computations / [A. A. Oliinyk, S. Yu. Skrupsky, V. V. Shkaruplyo et al.] // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2017. – Vol. 1. – P. 142–152. DOI: 10.15588/1607-3274-2017-1-16.
12. Performance Measurement with Fuzzy Data Envelopment Analysis / [eds.: Ali Emrouznejad, Madjid Tavana]. – Heidelberg : Springer, 2014. – 288 p. DOI 10.1007/978-3-642-41372-8.
13. Вахитов А. Р. Использование нечеткого логического вывода для интеллектуального анализа данных / А. Р. Вахитов, В. А. Силич // Известия Томского политехнического университета. – 2010. – Т. 317, № 5. – С. 171–174.
14. Исследование нечетких нейронных сетей в задачах макроэкономического прогнозирования / [Ю. П. Зайченко, Севаев Фатма, К. М. Титаренко и др.] // Системні дослідженні та інформаційні технології. – 2004. – № 2. – С. 70–86.
15. Шитикова Е. В. Модельно-ориентированное проектирование испытаний сложных технических объектов : монография / Е. В. Шитикова, С. Б. Беликов, Г. В. Табунщик. – Запорожье : Дике поле, 2017. – 170 с.
16. Метод синтеза множества контролируемых переменных для диагностирования отказов турбореактивных двигателей в условиях неопределенности входных данных / [В. Е. Стрелец, М. Л. Угрюмов, Е. М. Угрюмова и др.] // Вісник двигунобудування. – 2015. – № 2. – С. 120–124.
17. Шитікова О. В. Інформаційна технологія підтримки процесу випробувань газотурбінних установок наземного використання з урахуванням невизначеності : автореф. дис. ... к. техн. наук : 05.13.06 «Інформаційні технології» / Шитікова О. В. ; М-во освіти і науки України, Херсонський Національний Технічний Університет. – Херсон, 2017. – 24 с.

Статья поступила в редакцию 31.08.2017.

После доработки 25.09.2017.

Результати. Розроблений метод апробований для планування випробувань газотурбінних установок наземного використання. Відповідно до класифікації витрат на процес випробувань, використання метода формування робіт для програми випробувань дозволило знизити витрати на ресурси труда, капіталу та альтернативні ресурси, за рахунок зниження кількості експериментів для підтвердження працездатності газотурбінної електростанції.

Висновки. Розроблений метод формування об'єму робіт для програми випробувань складних технічних систем дозволяє комбінувати роботи, що можливо виконати за один запуск складної технічної системи. Застосування розробленого методу дозволило знизити витрати процесу випробувань за рахунок зменшення часу та трудовитрат на створення програми випробувань, а також зниження кількості запусків газотурбінної установки наземного використання при збільшенні обсягу проведених досліджень за один запуск.

Ключові слова: газотурбінні установки наземного використання, програма випробувань, контрольовані параметри, обсяг робіт, нечіткий логічний вивід, витрати.

Shytikova O¹, Tabunshchik S.², Tabunshchik G.³

¹Junior Researcher, Software Tools Department, Zaporizhzhia National Technical University, Zaporozhia, Ukraine

²Leading Engineer, Software Tools Department, Zaporizhzhia National Technical University, Zaporozhia, Ukraine

³PhD, Professor, Software Tools Department, Zaporizhzhia National Technical University, Zaporozhia, Ukraine

METHOD FOR FORMING TEST WORKFLOW BASED ON FUZZY INFERENCE

Actuality. Test process costs can be reduced by rational planning of all works and the optimal allocation of the resources. One of the main documents which regulate the purpose and tasks of the test process, its' scope, procedure and methods of carrying out the work, is a test program. The process of its creation is represented as a sequence of interrelated tasks. In the view of the high costs of material and non-material resources, the improvement of the testing is possible due to a reasonable choice of scope of work and controlled variables. The object of the research – the test process of the compound technical system. The subject of the research – the method for collection and analysis of controlled parameters within test process of the compound technical system.

Goal of the research is to develop a method for forming the scope of testing workflows which will be included in the compound technical system test program.

Method. A method for forming of the testing workflows scope for a test program for compound technical systems is developed by the authors. It is based on a combination of direct logical inference for the formation of a set of monitored parameters and a fuzzy logical conclusion for the composition of works that are expedient for one launch of the compound technical systems. Combination of different work types reduces direct costs and reduces the test process cost.

Results. Developed method was used for the tests of the gas turbine unit for terrestrial usage. According to the test costs classification, usage of the suggested approach for forming test process workflows reduced labor costs, capital (materials) resources and alternative resources, due to the reducing of experiments number for a gas turbine power station.

Conclusions. Method for workflows forming for test program of compound technical systems allows combining working processes, which are possible to run within one launch of the technical system. The application of the method has reduced test process costs by reducing time and man-hour for creation of test program, as well as reducing number of launches of the gas turbine unit, with the increase of work scope for one launch.

Keywords: gas turbine unit for terrestrial usage, test program, controlled parameters, scope of work, fuzzy inference, costs.

REFERENCES

1. Krishna B. Misra : ed. Handbook of Performability Engineering. London, Springer-Verlag London Limited, 2008, 1295 p. DOI 10.1007/978-1-84800-131-2.
2. Shitikova E. V., Tabunshchik G. V. Metod upravleniya neopredelennost'yu v usloviyax ogranichennykh resursov, *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2015, No. 2(33), pp. 87–95. DOI: 10.15588/1607-3274-2015-2-11.
3. Gal'perin V. M., Ignat'ev S. M., Morgunov V. I. Mikroekonomika, Vil. l., Sankt-PeterburgE'konomicheskaya shkola, 2004, 349 p.
4. Aleksandrovskaia L. N., Kruglov V. I., Kuznecov A. G. i dr. Teoreticheskie osnovy ispytaniy i e'ksperimental'naya otrabotka slozhnykh texnicheskix sistem : uchebnoe posobie. Moscow, Logos, 2003, 736 p.
5. Vyprovuvannya i kontrol' yakosti produkciï. Terminy ta vyznachennja : DSTU 3021–95. [Effective from 1996-01-01]. Kiev, Derzhstandart Ukrainy, 1995, 74 p. (National standard of Ukraine).
6. Sistema razrabotki i postanovki produkciï na proizvodstvo. Ispytaniya i priemka vypuskaemoj produkciï. Osnovnye polozeniya : GOST 15.309-98. [Effective from 01.01.2000]. Moscow, Standartinform, 2008, 16 p. (Interstate standard).
7. Systema rozroblennja ta postavlennja produkciï na vyrobnyctvo : DSTU GOST 15.001:2009. [Effective from 2009-02-01]. Kiev, Derzhstandart Ukrainy, 2009, 9 p. (National standard of Ukraine).
8. Agregaty gazoperekachivayushhie s gazoturbinnym privodom. Obshhie texnicheskie usloviya : GOST 28775-90. [Effective from 01.01.1992]. Moscow, Standartinform, 2005, 11 p. (Interstate standard).
9. Ustanovki gazoturbinnnye dlya privoda turbogeneratorov. Obshhie texnicheskie usloviya : GOST 29328-92. [Effective from 01.01.1993]. Moscow, IPK Izdatel'stvo standartov, 2004, 12 p. (Interstate standard).
10. Oliinyk A., Skrupsky SSubbotin S. et al Parallel computing system resources planning for neuro-fuzzy models synthesis and big data processing, *Radio Electronics Computer Science Control*, 2016, Vol. 4, pp. 61–69. DOI: 10.15588/1607-3274-2016-4-8.
11. Oliinyk A. A., Skrupsky S. Yu., Shkaruplyo V. V. et al. The model for estimation of computer system used resources while extracting production rules based on parallel computations, *Radio Electronics, Computer Science, Control*, 2017, Vol.1, pp. 142–152. DOI: 10.15588/1607-3274-2017-1-16.
12. Ali Emrouznejad, Madjid Tavana: eds. Performance Measurement with Fuzzy Data Envelopment Analysis. Heidelberg, Springer, 2014, 288 p. DOI 10.1007/978-3-642-41372-8.
13. Vaxitov A. R., Silich V. A. Ispol'zovanie nechetkogo logicheskogo vyvoda dlya intellektual'nogo analiza dannyx, *Izvestiya Tomskogo politexnicheskogo universiteta*, 2010, Vol. 317, No. 5, pp. 171–174.
14. Zajchenko Yu. P., Sevae Fatma, Titarenko K. M. i dr. Issledovanie nechetkix nejronnyx setej v zadachax makroe'konomicheskogo prognozirovaniya, *Sistemni doslidzhenni ta informacijni tehnologii*, 2004, No. 2, pp. 70–86.
15. Shitikova E. V., Belikov S. B., Tabunshchik G. V. Model'no-orientirovannoe proektirovanie ispytaniy slzhnyx texnicheskix ob'ektov : monografiya. Zaporozh'e, Dyke pole, 2017, 170 p.
16. Strelec V. E., Ugryumov M. L., Ugryumova E. M. i dr. Metod sinteza mnozhestva kontroliruemyx peremennyx dlya diagnostirovaniya otkazov turboreaktivnyx dvigatelej v usloviyax neopredelennosti vhodnyx dannyx, *Visnyk dvygunobuduvannya*, 2015, No. 2, pp. 120–124.
17. Shytikova O. V. Informacijna tehnologija pidtrymky procesu vyprovuvan' gazoturbinnnykh ustanovok nazemnogo vykorystannja z urahuvannjam nevyznachenosti : avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk : 05.13.06 «Informacijni tehnologii». M-vo osvity i nauky Ukrainy, Khersonskiy Natsionalnyi Tekhnichniy Universytet. Kherson, 2017, 24 p.