

вочными сферами, что позволит проводить самостоятельную калибровку. Также к средству измерения подключается принтер, что позволяет оперативно распечатать результаты измерений.

Этап 3 – метрологическое подтверждение пригодности. В ходе данного этапа происходит проверка СИ с целью определения соответствия требованиям, а также подтверждаются заявляемые характеристики точности. Нами выделены наиболее важные составляющие СИ, метрологическая пригодность которых должна быть подтверждена, в частности: средство измерений, методика выполнения измерений, эталоны, вспомогательные средства. Средство измерения внесено в государственный реестр средств измерений, что позволит проводить поверку и калибровку средства измерения в пределах нашей страны. Также разработаны методика выполнения измерений и калибровки. Проведена валидация методики измерений. В качестве эталона шероховатости отобран эталон из уже изготовленной продукции, поскольку образец изготовлен из керамики то он способен сохранять свои физические свойства на протяжении длительного времени без ухудшения своих физических показателей [2].

Четвертый этап – мониторинг. Для поддержания СИ в рабочем состоянии в ходе ее рутинной эксплуатации необходимо осуществлять мониторинг ее характеристик. Мониторинг СИ позволяет получить информацию о ее текущем состоянии, в том числе информацию о потере СИ заданных характеристик. Мониторинг СИ на предприятии осуществляется с помощью применения контрольных карт. Контрольная карта – это графическое средство, использующее статистические подходы, важность которых для управления производственными процессами была впервые показана доктором У. Шухартом в 1924 г. [3]. Поскольку измерения несут разрушающий характер и их можно провести достаточно большое количество измерений, на предприятии для контроля по качественному

признаку применяются карты средних значений и карты размахов.

Этап 5 – полный анализ СИ. В случае получения по результатам мониторинга данных, сигнализирующих об ухудшении характеристик СИ и нарушении ее нормального функционирования, на предприятии должен быть проведен полный анализ системы с целью выявления причин, из-за которых СИ по той или иной характеристике перестала соответствовать требованиям. В качестве инструмента полного анализа выбраны техники планирования эксперимента и дисперсионный анализ.

Этап 6 – совершенствование. Рассматривая СИ, как единичный объект управления СМИ, становится очевидным важность ее совершенствования в ходе ЖЦ. Для совершенствования существующей СИ проводится исследования с использованием методов семантического, статистического анализа и управления процессами. Результаты исследования должны быть использованы для разработки новой концепции измерения и оценки состояния процессов. Также постоянно поддерживается обратная связь с потребителями, что в свою очередь позволяет быстро реагировать на изменения в потребностях потребителя.

В этом докладе представлены результаты метрологических изысканий организационного, методического, технического плана для обеспечения необходимого уровня контроля качества продукции и сопровождения жизненного цикла системы измерений.

#### Литература

1. Системы менеджмента качества. Требования : СТБ ISO 9001-2015.
2. Системы управления измерениями. Требования к процессам измерений и измерительному оборудованию : СТБ ИСО 10012-2004.
3. Шухарт У. А. Экономический контроль качества произведенного продукта / У. А. Шухарт. – Вэн Ноустренд К., Нью-Йорк, 1931. – 50 с.

УДК 658.512.4

#### АЛГОРИТМ УПРАВЛЕНИЯ РОБАСТНОСТЬЮ ПРОЦЕССОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПОЛОЖЕНИЙ ТЕОРИИ НЕКОРРЕКТНЫХ ЗАДАЧ

Серенков П.С., Песляк И.Е.

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь*

**Аннотация.** В докладе доказана гипотеза о том, что в основу системного подхода к оцениванию и управлению потерями робастности производственных процессов в смысле их неприемлемости могут быть положены наработанные подходы и техники теории некорректных задач. Представлена классификация ситуаций потерь робастности производственных процессов в соответствии с классификацией признаков некорректности задач. Предложен двухшаговый алгоритм обеспечения робастности производственных процессов.

**Ключевые слова:** робастность, теория некорректных задач, процессы производственные, процессы измерительные, процессы технологические.

## ALGORITHM TO CONTROL THE ROBUSTITY OF PROCESSES USING THE PROVISIONS OF THE THEORY OF INCORRECT PROBLEMS

Serenkov P., Pesliak I.

*Belarusian National Technical University  
Minsk, Belarus*

**Abstract.** The report proves the hypothesis that the system approach to the evaluation and management of losses of robustness of production processes in the sense of their unacceptability can be based on the developed approaches and techniques of the theory of incorrect tasks. The classification of situations of losses of robustness of production processes in accordance with the classification of signs of incorrect tasks is presented. A two-step algorithm for ensuring the robustness of production processes is proposed.

**Key words:** robustness, incorrect problem theory, production processes, measurement processes, technological processes.

*Адрес для переписки: Песляк И.Е., пр. Дзержинского, 84, 231, г. Минск 220116, Республика Беларусь  
e-mail: irina.peslyak.1864@gmail.com*

В условиях новой промышленной революции «Индустрия 4.0» начинает доминировать индивидуализация производимой продукции и услуг, динамично изменяется спрос на инновационную продукцию. В связи с этим изменяются и требования потребителей к изделиям, а также к самим поставщикам и производителям. Как уже не раз доказывал практический опыт, производители, не удовлетворяющие требования потребителей, очень быстро теряют свои позиции на рынке. И мало того, что требования меняются чуть ли не ежедневно, необходимо обеспечивать их получение с первого изделия. Это приводит нас к необходимости обеспечения приемлемости, стабильности и устойчивости (робастности) процессов производства еще на стадии их проектирования.

### Приемлемость процесса и некорректность.

Понятие «корректно поставленная задача» было введено Ж. Адамаром. Он полагал, что подавляющее большинство исследований приводит к формированию математической модели. Теория некорректных задач выражает вид соотношения между правой и левой частями уравнения модели, которые при наложении на процесс будут соответствовать входам и выходам модели процесса. Некорректность математической задачи по своей сути будет ее неустойчивостью, как и потеря робастности для процесса является также свойством неустойчивости [1].

Ж. Адамар сформулировал три основных признака некорректности задачи в математике. Идентификация в производственном процессе любого из трех признаков некорректности приводит к неопределенности результата (выхода процесса):

- при наличии первого признака приемлемый результат процесса отсутствует;
- при наличии второго признака приемлемость результата неопределенна в силу многообразия альтернативных решений;
- при наличии третьего признака приемлемость результата процесса непредсказуема в силу большой вариации выхода.

Наличие первых двух признаков призывает к необходимости бескомпромиссного выполнения каких-либо действий по их полному устранению. Процесс должен быть лишен этих признаков некорректности, т.е. робастен по отношению к их проявлению.

Особенностью третьего признака некорректности является тот факт, что модель приемлемости производственного процесса некорректна всегда. Факторы входа – величины случайные, т.е. имеют естественную вариацию, что очевидно приводит к неизбежной вариации выхода – результата процесса.

Предлагается потери робастности производственного процесса в зависимости от допустимой степени вариации выхода разделить на два типа:

- потеря робастности I рода: вариацию выхода процесса можно считать допустимой (она соответствует заданной технологической точности, допустимой неопределенности (погрешности);
- потеря робастности II рода: вариацию выхода процесса необходимо снизить, поскольку она превышает допустимые значения.

В соответствии с этим мы получаем классификацию потерь робастности процессов, представленную на рис. 1.



Рисунок 1 – Классификация ситуаций потерь робастности производственных процессов как их неприемлемости в соответствии с классификацией признаков некорректности задач

По своей сути получаем, что степень некорректности задачи есть аналог степени потерь робастности. Соответственно значимость фактора потерь робастности можно определять, установив пороговое значение, например, через коэффициент  $K$ :

$$K = \Delta_{\text{вых}} / \Delta_{\text{вх}},$$

где  $\Delta_{\text{вых}}$  – вариация «выхода» процесса;  $\Delta_{\text{вх}}$  – вариация «входа» процесса.

Если коэффициент  $K$  превышает некоторое, заранее установленное пороговое значение, задача обеспечения приемлемости процесса становится некорректной и можно считать анализируемый фактор «входа» процесса фактором потерь робастности и рассматривать его как объект управления.

Нами разработан системный подход к обеспечению робастности производственных процессов, предполагающий двухшаговый алгоритм, включающий:

- идентификацию источников потерь робастности и соответствующих факторов входа, вариация которых вызывает вариацию выхода процесса;
- управление факторами входа, вызывающих существенную вариацию фактора выхода процесса.

**Шаг 1.** Рассмотрим идентификацию источников потерь робастности для технологических и измерительных процессов. Для процессов измерений характерны два комплексных источника потенциальных факторов потерь робастности [2]:

- объект измерений;
- собственно процесс измерений.

Собственно технологический процесс по образу и подобию может «давать» факторы потерь робастности, относящиеся к:

- параметрам технологического процесса;
- параметрам процесса сбора, обработки и анализа данных.

Особенностью потерь робастности для измерительных и технологических процессов яв-

ляется ее скрытый характер в силу неполноты информации о модели процесса.

**Шаг 2.** Для осуществления поиска наилучшего пути управления робастностью процесса воспользуемся классификацией, представленной на рис. 1, и в соответствии с ней разделим шаг на два этапа:

– первый этап – нейтрализовать появление потерь робастности типов 1, 2 и 3.2 в соответствии с рис. 1;

– второй этап – верифицировать процесс по критерию соответствия оценки суммарной неопределенности выхода заданным требованиям.

Для реализации первого этапа предлагается использовать методы, наработанные практикой решения некорректных задач по каждому из трех признаков некорректности.

Второй этап реализуется в предположении того, что первый успешно выполнен. В этом случае верификация процесса производится по критерию соответствия оценки суммарной неопределенности выхода заданным требованиям. Реализация второго этапа сводится к оцениванию результирующей вариации выхода производственного процесса как результата совокупного воздействия факторов входа, признанных на первом этапе мало влияющими, и констатации того факта, что она не превышает значений, заданных в технических требованиях. В этом случае процесс считается приемлемым.

Положения подхода к обеспечению робастности универсальны, его применение не ограничивается спецификой процесса и может применяться в любой области деятельности.

#### Литература

1. Сумин, М. И. Метод регуляризации А.Н. Тихонова для решения операторных уравнений первого рода: учеб.-метод. пособие / М. И. Сумин. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2016. – 56 с.
2. Серенков, П. С. Комплексный подход к обеспечению робастности методов измерений / П. С. Серенков, В. Л. Гуревич, Е. Э. Фельдштейн // Измерительная техника. – 2018. – № 12. – С. 72.

УДК 371.315

## ДИСТАНЦИОННОЕ ОБУЧЕНИЕ КАК ИНСТРУМЕНТ ПОВЫШЕНИЯ КОМПЕТЕНТНОСТИ ПЕРСОНАЛА ПО ВОПРОСАМ СИСТЕМНОГО МЕНЕДЖМЕНТА

Серенков П.С., Чурак Н.В.

Белорусский национальный технический университет  
Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Достижение целей, связанных с совершенствованием и улучшением качества процесса обучения, в наибольшей степени зависит от умения правильно выделить более результативные методы обучения и всевозможные информационные технологии для дальнейшего использования их в качестве основы создания эффективного механизма обучения по вопросам системного менеджмента с возможностью дистанционного обучения.

**Ключевые слова:** системный менеджмент, компетентность, процесс обучения, информационные технологии, дистанционное обучение.