

УДК 621.165

НОВЫЙ ПОДХОД К ПОВЫШЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ ТУРБОАГРЕГАТА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СКРЫТЫХ РЕЗЕРВОВ

А.С. Демина^а, Е.В. Шалобаев^б

^а ПАО «Силловые машины», Санкт-Петербург, 195009, Российская Федерация

^б Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация

Адрес для переписки: anyagladysheva@gmail.com

Информация о статье

Поступила в редакцию 29.08.17, принята к печати 16.10.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-6-1133-1139

Язык статьи – русский

Ссылка для цитирования: Демина А.С., Шалобаев Е.В. Новый подход к повышению надежности работы системы безопасности турбоагрегата на основе использования скрытых резервов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2017. Т. 17. № 6. С. 1133–1139. doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-6-1133-1139

Аннотация

В статье представлен новый метод повышения надежности системы безопасности (защиты от разгона) быстроходной паровой турбины. Повышение надежности достигнуто за счет использования интеллектуального мехатронного модуля с обгонной муфтой и увеличения числа проверок механического автомата безопасности по сравнению с существующим регламентом. Предложенная конструкция позволяет провести испытание системы безопасности увеличением частоты вращения на работающем в штатном режиме оборудовании, что кардинально отличается от аналогов. Использование предлагаемого решения позволило отказаться от существующей практики – разгона до максимально допустимой частоты вращения турбины, что, в конечном итоге, повышает срок ее эксплуатации. В отличие от аналогов, проверку можно проводить в автоматическом режиме без участия оператора. Представляется возможность использовать метод визуальной спектроскопии в качестве дополнительного инструмента, позволяющего обнаружить дефект, влияющий на производительность предлагаемой системы даже на работающей турбине. Аналогов такой системы, позволяющей выявлять дефекты до того, как будет проведена проверка механического автомата безопасности, в настоящее время не существует. Предлагаемое техническое решение в нынешних экономических условиях может служить хорошей альтернативой дорогостоящим электронным системам безопасности. В то же время задача по достижению требуемой надежности работы турбины будет решена.

Ключевые слова

мехатронный модуль, механический автомат безопасности, высокооборотное оборудование

AN APPROACH TO RELIABILITY INCREASE OF TURBINE SAFETY SYSTEM BASED ON HIDDEN RESERVES

A.S. Demina^а, E.V. Shalobaev^б

^а PJSC "Power machines", Saint Petersburg, 195009, Russian Federation

^б ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation

Corresponding author: anyagladysheva@gmail.com

Article info

Received 29.08.17, accepted 16.10.17

doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-6-1133-1139

Article in Russian

For citation: Demina A.S., Shalobaev E.V. An approach to reliability increase of turbine safety system based on hidden reserves. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2017, vol. 17, no. 6, pp. 1133–1139 (in Russian). doi: 10.17586/2226-1494-2017-17-6-1133-1139

Abstract

The paper presents a novel method of the reliability increase for safety system (overspeed protection system) for the high-speed steam turbine. Reliability increase is achieved by use of the intelligent mechatronic module with overrunning clutch, and the increase of the number of mechanical overspeed trip mechanism inspections compared with the present regulation. The proposed design allows for safety system testing by the rotation frequency increase of normally running equipment that is radically different from prototypes. This solution application gives the possibility to abandon the existing practice of acceleration to the maximum permissible turbine rotation frequency that ultimately increases its lifetime. In contrast to its prototypes, the test can be carried out automatically without operator intervention. It gives the possibility for application of

visual spectroscopy method as a complementary tool to detect a defect, affecting the performance of the proposed system, even on a running turbine. There are no currently existing prototypes of such system that can identify defects before the mechanical security system is tested. The proposed technical solution can serve as a good alternative to costly electronic security systems in the current economic climate. At the same time, the problem of achieving the necessary reliability of the turbine will be solved.

Keywords

mechatronic module, mechanical overspeed trip mechanism, high-speed equipment

Введение

Рост единичных мощностей, вырабатываемых турбогенераторами, стал причиной существенного возрастания убытков, связанных с разрушениями турбинных агрегатов. В связи с этим все еще остается актуальным вопрос обеспечения безопасности их эксплуатации, особенно в условиях атомных электростанций.

Безопасность эксплуатации турбоагрегата повышается при наличии информации, предупреждающей о нарушении работоспособности или изменении характеристик тех или иных элементов, которое в перспективе может привести к аварии. Получение такой информации обеспечивается проведением диагностики состояния турбоагрегата на этапе пуска-наладки, например, до и после ремонта, а также после реконструкции [1, 2]; постоянным контролем отдельных параметров, отклонение от номинальных значений которых может привести к тяжелым последствиям; функциональным и тестовым диагностированием систем, управляющих турбоагрегатом в эксплуатационных и аварийных ситуациях.

При этом задача качественного аппаратного обеспечения контроля и диагностики играет главную роль в плане удовлетворения требований, предъявляемых к этим системам, и в настоящее время решается применением современной электронной техники.

Современное производство и эксплуатация крупного высокооборотного оборудования базируются на локальных комплексах, либо автоматизированных, либо таких, автоматизация которых возможна и целесообразна. Это создает основу для внедрения мехатронных модулей [3]. Мехатроника – это новая, быстро развивающаяся отрасль науки и техники. Она основывается на знаниях и достижениях в областях механики, электроники и компьютерного управления и представляет собой более высокий уровень развития современного машиностроения. В ряде производственных отраслей тенденция перехода от механики к мехатронике сегодня преобладает, а это приводит к появлению более совершенных машин, систем и процессов.

Проблема обеспечения безопасности эксплуатации турбинных агрегатов может решаться, в частности, и в аспекте защиты, предупреждающей возрастание частоты их вращения выше определенного значения [1].

Постановка задачи

Механический автомат безопасности (МАБ) паротурбинного агрегата – это важнейший элемент защиты такого крупного высокооборотного оборудования, как паротурбинный агрегат. У МАБ есть множество достоинств, таких как простота конструкции и надежность. Но при этом основной недостаток МАБ состоит в том, что периодически необходимо проводить его проверку путем разгона турбоагрегата до уставки срабатывания (более 3000 оборотов в минуту) [4, 5]. Такие проверки существенно снижают ресурс работы оборудования и, кроме того, являются источниками риска.

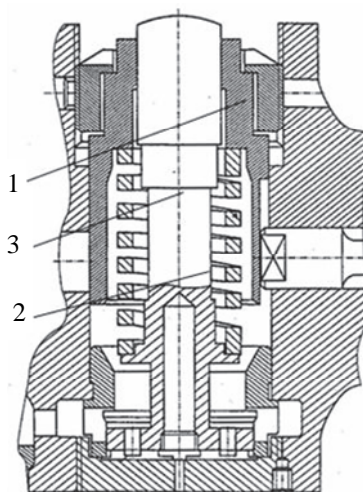


Рис. 1. Центробежный выключатель с точеной пружиной: 1 – гайка; 2 – пружина; 3 – боек

Проверка работоспособности МАБ является неотъемлемой частью системы защиты турбоагрегата от бесконтрольного повышения числа оборотов. То, насколько корректно срабатывает автомат безопасности, в конечном итоге определяет безопасность работы всего турбинного агрегата. А для корректной работы МАБ необходимо в первую очередь своевременно выявлять и устранять неисправности, которые могут возникнуть в процессе эксплуатации.

Отказы МАБ не являются большой редкостью. Основными их причинами являются выход из строя пружины в результате потери упругости и «залипание» чувствительного элемента (бойка) (рис. 1). Как показывает практика, наиболее частой причиной отказов является выход из строя пружин МАБ. Из-за вибрации консоли МАБ уменьшается установленное усилие пружины и, как следствие, падает число оборотов срабатывания.

Предлагаемое решение

Чтобы проводить проверки МАБ с частотой, необходимой с позиции надежности, предлагается использовать мехатронный подход к решению данной проблемы [6].

Применение мехатронного подхода по сравнению с традиционными средствами автоматизации позволяет реализовать:

- относительно низкую стоимость (благодаря высокой степени интеграции, унификации и стандартизации всех элементов и интерфейсов);
- высокое качество реализации сложных и точных движений (в результате применения методов интеллектуального управления);
- высокую надежность, долговечность (например, за счет повышения точности) и помехозащищенность;
- конструктивную компактность [7, 8].

Электроприводной интеллектуальный мехатронный модуль (ИММ), который предполагается использовать в данной конструкции, состоит из следующих основных элементов [1]:

- двигатель;
- датчики обратной связи и сенсорные устройства;
- управляющий контроллер;
- силовой преобразователь;
- устройства сопряжения и связи.

Как правило, в мехатронный комплекс также входит преобразователь движения, но в рассматриваемом случае необходимость использовать преобразователь движения отпадает, так как требуемая скорость вращения «рабочего органа» составляет больше 3000 оборотов в минуту (рис. 2).

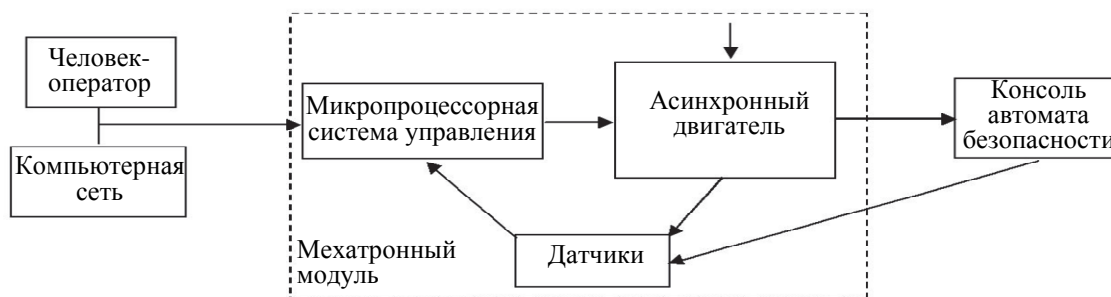


Рис. 2. Функциональная схема мехатронного модуля

Встроенная система управления, реализованная на современной элементной базе, позволяет получить компактный и надежный мехатронный узел, обладающий интеллектуальными функциями, и построить на его основе мехатронный комплекс с децентрализованным управлением. В сочетании с открытой архитектурой систем управления типа РС-НС это позволяет создать качественно новые системы управления, обладающие радикально лучшими характеристиками по быстродействию, точности и функциональной гибкости. Принципиально важно, чтобы все перечисленные элементы были конструктивно объединены в одном корпусе, чтобы сделать устройства связи внутренними блоками, недоступными для пользователя [9–11].

Целесообразность применения ИММ обуславливается следующими факторами:

- повышением надежности и безопасности мехатронных систем благодаря компьютерной диагностике неисправностей и автоматической защите в аварийных и нештатных режимах работы;
- возможностью создания на основе ИММ распределенных систем управления с применением сетевых методов, аппаратно-программных платформ на базе персональных компьютеров и соответствующего программного обеспечения;

- использованием современных методов теории управления (программных, адаптивных, интеллектуальных) непосредственно на исполнительном уровне и повышением тем самым качества процессов управления в конкретных реализациях;
- интеллектуализацией силовых преобразователей, входящих в состав ИММ, для реализации непосредственно в мехатронном модуле (ММ) интеллектуальных функций по управлению движением, защите модуля в аварийных режимах и диагностики неисправностей [2, 12].

Все перечисленные достоинства ИММ, по мнению авторов, позволяют говорить о целесообразности его применения при проектировании устройства для проверки работоспособности автомата безопасности турбинного агрегата.

С использованием мехатронного подхода к проектированию было синтезировано устройство, позволяющее проводить проверку работоспособности МАБ на работающем турбинном агрегате, кардинально отличающееся от уже существующих [13–19].

Схема этого устройства приведена на рис. 3.

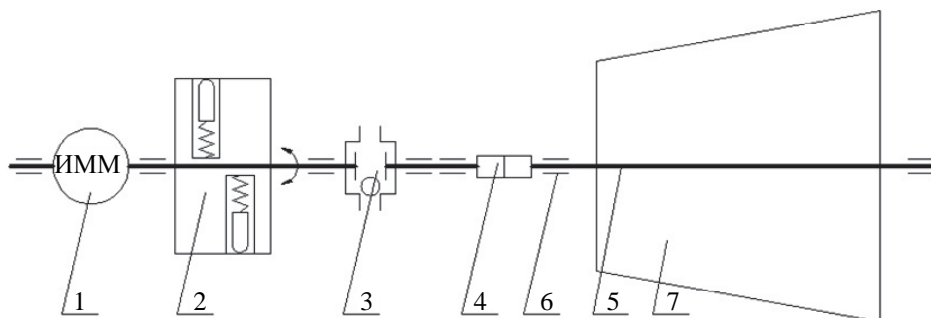


Рис. 3. Автомат безопасности, выполненный в собственных подшипниках.
ИММ – интеллектуальный мехатронный модуль

К валу 5 турбинного агрегата 7 после переднего подшипника 6 крепится вал автомата безопасности 2 через шлицевое соединение 4 и обгонную муфту 3. Вал автомата безопасности расположен в собственных подшипниках.

Механический датчик частоты вращения, являющийся составляющей частью автомата безопасности, находится в специальных расточках, выполненных внутри вала турбинного агрегата. Вращение вала автомата безопасности осуществляется с помощью ИММ 1. При срабатывании механического датчика бойки воздействуют на рычаги (рис. 4, 5), от которых воздействие передается в систему управления запорными органами турбины¹.

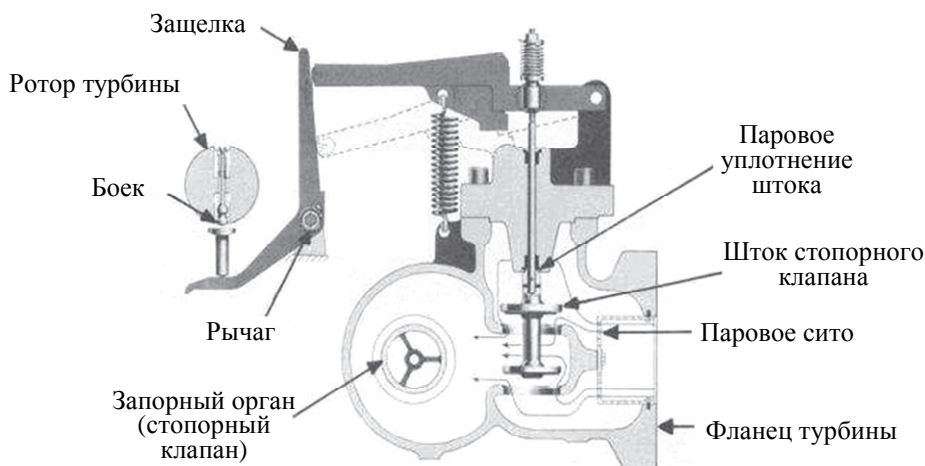


Рис. 4. Упрощенная схема работы механического автомата безопасности

Как видно из рис. 4, автомат безопасности является плоским механизмом, где входным (ведущим) звеном является вал, приводимый во вращательное движение с помощью ИММ, а выходным звеном – боек, совершающий поступательное движение. При частоте срабатывания боек будет иметь следующие кинематические характеристики:

$$V = \omega \times r, \quad a_n = \omega^2 \times r,$$

¹СТО 70238424.27.040.019-2009 Турбина паровая Т-100-130 ТМЗ. Технические условия на капитальный ремонт. Нормы и требования. Введ. 1.11.2010. М.:НП «ИНВЭЛ», 310 с.

где V – линейная скорость, м/с; a_n – нормальное ускорение, м/с²; ω – угловая скорость, 1/с; r – расстояние от оси вращения до центра тяжести бойка.

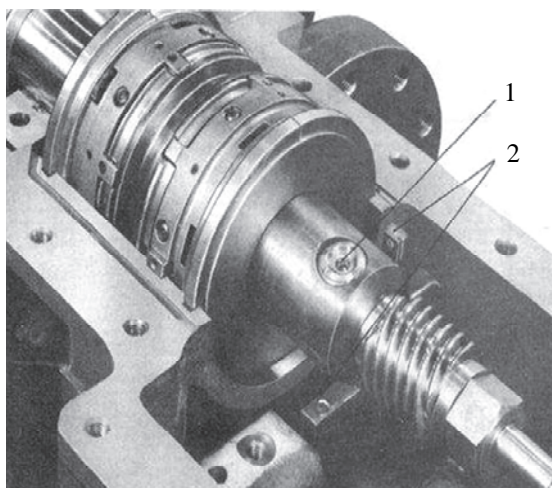


Рис. 5. Механический автомат безопасности: 1 – боек; 2 – рычаг

Устройство для проверки работоспособности МАБ работает следующим образом. По команде оператора либо по заложенной программе перед началом проверки автомата безопасности посредством управляющего контроллера, расположенного в электроприводном ИММ, происходит включение двигателя ИММ. В результате при достижении скорости, большей скорости вращения вала автомата безопасности, разъединяется обгонная муфта. Затем происходит сам процесс испытания. Двигатель ИММ вращает вал автомата безопасности с заданной скоростью, соответствующей величине уставки срабатывания автомата безопасности. С помощью сенсорного устройства фиксируется срабатывание автомата безопасности, т.е. происходит «выстреливание» бойка. Затем скорость двигателя снижается до частоты вращения турбоагрегата и происходит зацепление частей обгонной муфты. Если сигнал о срабатывании бойка автомата безопасности не поступил, на отображающем устройстве появится сообщение о неисправности автомата безопасности.

Не менее важной является задача обнаружения того элемента, который послужил причиной неисправности МАБ. Согласно [20], среди возможных дефектов МАБ могут быть остаточная деформация пружины, ослабление затяжки стопорных винтов, задиры сопрягаемых поверхностей бойка и втулки (нарушение свободного перемещения), коррозионное и эрозионное изнашивание бойка. Одним из возможных методов бесконтактной диагностики дефектов, связанных с коррозионным и эрозионным износом, является метод тепловизионной спектроскопии, позволяющий дистанционно выявлять такие дефекты поверхности [21]. Согласно данному методу, при исследовании поверхности с помощью тепловизионной камеры одновременно облучают поверхность лазерным электромагнитным излучением с длиной волны λ , совпадающей со спектральной областью поглощения вещества дефекта. Наличие дефекта на поверхности определяется на экране тепловизионной камеры как зона контраста между температурой фона и температурой дефекта. В случае совпадения λ лазерного излучения с областью характеристической полосы поглощения в спектре поглощения вещества дефекта появляется возможность определения химического состава дефекта. Например, можно определить зоны загрязнения поверхности теми или иными химическими веществами, привнесенными извне или образующимися в процессе эксплуатации узла вследствие естественного старения материалов и в зонах контакта деталей (например, бойка и гайки). Информация о таких изменениях поверхности деталей дает основание для досрочной инициализации проверки механизма МАБ в целом (соответствующий сигнал поступит оператору). Тем самым можно еще больше повысить надежность узла.

Заключение

Применение мехатронного модуля в конструкции механического автомата безопасности позволяет продлить срок службы турбинного агрегата, поскольку исключает необходимость повышать его частоту вращения свыше 3000 оборотов в минуту при проведении испытания разгоном. В то же время процедура испытания автомата безопасности не будет требовать существенной корректировки режима работы агрегата в период ее проведения и не будет являться источником рискованных ситуаций.

Предлагаемое устройство проверки механического автомата безопасности в сочетании с использованием метода тепловизионной спектроскопии позволяет своевременно выявлять дефекты, которые могут стать причиной аварии на электростанции в случае бесконтрольного повышения частоты вращения турбинного агрегата.

Несмотря на то, что аварии на электростанциях в наши дни случаются довольно редко, нельзя исключать возможность их возникновения. В наши дни большой парк турбинных агрегатов выработал ресурс работы на 90% и требует усиленного контроля за состоянием важнейших узлов, от которых зависит безопасность персонала станции. Большая часть оборудования требует модернизации или замены. В современных экономических условиях не последнюю роль играет стоимость таких работ. Бывает, что необходимая для безаварийной работы установка дорогостоящего оборудования не может быть осуществлена из соображений экономии. Выйти из такой ситуации можно, если провести модернизацию не всей системы, а основных ее частей. Таким образом, вместо того, чтобы приобретать и вводить в эксплуатацию новую систему (например, электронный автомат безопасности) [22–26], можно усовершенствовать уже существующую систему посредством устройства, описанного в данной статье. В частности, получен положительный отзыв о возможности применения таких устройств при модернизации паровых турбин производства Ленинградского металлического завода.

Литература

References

1. Беликова Н.З., Юланов О.А., Гладченко В.М., Леснов В.В., Гладченко А.В. Электронный автомат безопасности как элемент защиты турбоагрегата // Электрические станции. 2005. № 5. С. 40–47.
2. Таугер В.М. Конструирование мехатронных модулей. Екатеринбург: УрГУПС, 2009. 336 с.
3. Трухний А.Д., Ломакин Б.В. Теплофикационные паровые турбины и турбоустановки. М.: МЭИ, 2002. 540 с.
4. Фрагин М.С. Регулирование и маслоснабжение паровых турбин: настоящее и ближайшая перспектива. СПб.: Энерготех, 2005. 247 с.
5. Taylor S.L., Smith S.S. Turbine overspeed systems and required response times // Proc. 38th Turbomachinery Symposium. 2009. P. 157–167.
6. Гладышева А.С., Шалобаев Е.В. Аспекты надежности мехатронной системы защиты быстровращающегося оборудования // Неделя науки СПбПУ. Санкт-Петербург, 2015. С. 313–315.
7. Шалобаев Е.В. Теоретические и прикладные проблемы развития мехатроники / В сб. Современные технологии. СПб.: СПбГИТМО (ТУ), 2001. С. 46–67.
8. Шалобаев Е.В., Толочка Р.-Т.А. Терминологические аспекты современной мехатроники // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологий. 2013. № 5. С. 122–132.
9. Аршанский М.М., Шалобаев Е.В. Мехатроника: основы глоссария // Мехатроника. 2001. № 4. С. 47–48.
10. Шалобаев Е.В. К вопросу определения мехатроники и иерархии мехатронных объектов // Датчики и системы. 2001. № 7. С. 64–67.
11. Подураев Ю.В. Мехатроника: основы, методы, применение. 2-е изд. М.: Машиностроение, 2007. 256 с.
12. Егоров О.Д., Подураев Ю.В. Расчет и конструирование мехатронных модулей. М.: МГТУ «Станкин», 2012. 422 с.
13. Архипов Л.И., Дюбанов Ю.В., Рыбин П.А. Выключатель автомата безопасности турбинного двигателя и способ проверки его работоспособности. Патент RU2236604. Оpubл. 20.09.2004.
14. Шекун Г.Д. Автомат безопасности. Патент RU2013571. Оpubл. 30.05.1994.
15. Афанасьев А.М., Байков Г.М., Клявин Л.А., Череповицын А.И., Юдин П.А. Центробежный выключатель. Патент RU2126096.
16. Будников И.К., Киракосов В.Г. Устройство контроля состояния бойков автомата безопасности турбины. Патент RU30846. Оpubл. 10.07.2003.
17. Block F.W., Nichols R.L., Dalton B.S., Johnson J.L., Ellis G.A. Method and System for Testing an Overspeed Protection System of a Powerplant Machine. Patent US8365583B2. 2013.
18. Bennauer M., Gobrecht E., Hallecamp M. Method for Testing an Overspeed Protection Mechanism of a Single-Shaft Combined-Cycle Plant. Patent US20160123183A1. 2013.
19. Block F.W., Nichols R.L., Dalton B.S., Johnson J.L., Ellis G.A. Method and system for testing an overspeed protection system of a powerplant machine. Patent US8756939B2. 2014.
20. Property loss prevention data sheets // FM Global. 2013. N 13-3. 39 p.
1. Belikova N.Z., Yulanov O.A., Gladchenko V.M., Lesnov V.V., Gladchenko A.V. Electronic safety device as an element of protection of a turbo-alternator. *Elektricheskie Stantsii*, 2005, no. 5, pp. 40–47. (In Russian)
2. Tauger V.S. *Construction of Mechatronic Modules*. Ekaterinburg, UrSURT Publ., 2009, 336 p. (In Russian)
3. Trukhnii A.D., Lomakin B.V. *Heating Steam Turbines and Turbine Units*. Moscow, MEI Publ., 2002, 540 p. (In Russian)
4. Fragin M.S. *Regulation and Oil-Supply of Steam Turbines: Present and Near Future*. St. Petersburg, Energotekh Publ., 2005, 247 p. (In Russian)
5. Taylor S.L., Smith S.S. Turbine overspeed systems and required response times. *Proc. 38th Turbomachinery Symposium*, 2009, pp. 157–167.
6. Gladysheva A.S., Shalobaev E.V. Reliability aspects of the mechatronic protection system for fast rotating equipment. *Mechatronics Week of SPbPU*. St. Petersburg, 2015, pp. 313–315. (In Russian)
7. Shalobaev E.V. Theoretical and applied problems of mechatronics development. In *Sovremennye Tekhnologii*. St. Petersburg, SPbSITMO(TU) Publ., 2001, pp. 46–67. (In Russian)
8. Shalobaev E.V., Tolocka R.T. Terminological aspects of modern mechatronics. *Fundamental'nye i Prikladnye Problemy Tekhniki i Tekhnologii*, 2013, no. 5, pp. 122–132. (in Russian)
9. Arshanskii M.M., Shalobaev E.V. Mechatronics: glossary basics. *Mechatronics*, 2001, no. 4, pp. 47–48. (In Russian)
10. Shalobaev E.V. To the question about the definition of mechatronics and mechatronic hierarchy of objects. *Sensors and Systems*, 2001, no. 7, pp. 64–67. (in Russian)
11. Poduraev Yu.V. *Mechatronics: Fundamentals, Methods, Application*. 2nd ed. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2007, 256 p. (In Russian)
12. Egorov O.D., Poduraev Yu.V. *Computation and Construction of Mechatronic Modules*. Moscow, MSTU "Stankin" Publ., 2012, 422 p. (In Russian)
13. Arkhipov L.I., Dyubanov Yu.V., Rybin P.A. *Switch of the Turbine Engine Safety Automaton and the Method of Verification of Its Operability*. Patent RU2236604, 2004.
14. Shekun G.D. *Automatic Safety Device*. Patent RU2013571, 1994.
15. Afanas'ev A.M., Baikov G.M., Klyavin L.A., Cherepovitsyn A.I., Yudin P.A. *Centrifugal Switch*. Patent RU2126096, 1999.
16. Budnikov I.K., Kirakosov V.G. *Device for Monitoring the Strikers State of the Turbine Safety Device*. Patent RU30846, 2003.
17. Block F.W., Nichols R.L., Dalton B.S., Johnson J.L., Ellis G.A. *Method and System for Testing an Overspeed Protection System of a Powerplant Machine*. Patent US8365583B2, 2013.
18. Bennauer M., Gobrecht E., Hallecamp M. *Method for Testing an Overspeed Protection Mechanism of a Single-Shaft Combined-Cycle Plant*. Patent US20160123183A1, 2013.
19. Block F.W., Nichols R.L., Dalton B.S., Johnson J.L., Ellis G.A. *Method and system for testing an overspeed protection system of a powerplant machine*. Patent US8756939B2, 2014.

21. Демин А.В., Демин С.А., Демина А.С., Шалобаев Е.В. Способ определения дефектов материала. Патент RU 2626227. Оpubл. 24.07.2017.
22. Orstein H.L. Operating Experience Feedback Report – Turbine-Generator Overspeed Protection Systems. Technical Report NUREG-1275. Washington, 1995. 122 p. doi: 10.2172/71337
23. Nurcombe B. Considerations when retrofitting overspeed detection systems // *ORBIT Magazine*. 2005. V. 25. N 1. P. 16–28.
24. Electronic Overspeed Detection Systems // *ORBIT Magazine*. 1999. V. 20. N 2. P. 44–45.
25. Шалобаев Е.В., Демина А.С. К вопросу об использовании перспективных технологий с применением интеллектуального мехатронного модуля // Научно-практическая конференция молодых ученых и специалистов атомной отрасли «Команда». Санкт-Петербург, Атомпроект, 2017. С. 28–29.
26. Шалобаев Е.В., Гладышева А.С. Особенности применения мехатронных модулей при реализации противоразгонной защиты турбины // Конференция молодых специалистов инженерно-технических служб ОАО «Силловые машины». Санкт-Петербург, 2015. С. 24.
20. Property loss prevention data sheets. *FM Global*. 2013. no. 13-3, 39 p.
21. Demin A.V., Demin S.A., Demina A.S., Shalobaev E.V. *Method for Determining Material Defects*. Patent RU 2626227, 2017.
22. Orstein H.L. *Operating Experience Feedback Report – Turbine-Generator Overspeed Protection Systems*. Technical Report NUREG-1275. Washington, 1995, 122 p. doi: 10.2172/71337
23. Nurcombe B. Considerations when retrofitting overspeed detection systems. *ORBIT Magazine*, 2005, vol. 25, no. 1, pp. 16–28.
24. Electronic Overspeed Detection Systems. *ORBIT Magazine*, 1999, vol. 20, no. 2, pp. 44–45.
25. Shalobaev E.V., Demina A.S. On the issue of using advanced technologies with the use of an intelligent mechatronic module. *Scientific and Practical Conf. of Young Scientists and Specialists of the Nuclear Industry "Team"*. St. Petersburg, Atomproekt, 2017, pp. 28–29. (In Russian)
26. Shalobaev E.V., Gladysheva A.S. Features of mechatronic modules use in the implementation of turbocharger over-rupture protection. *Conference of Young Specialists in Engineering and Technical Services of OJSC "Power Machines"*. St. Petersburg, 2015, p. 24. (In Russian)

Авторы

Демина Анна Сергеевна – инженер, ПАО «Силловые машины», Санкт-Петербург, 195009, Российская Федерация, anyagladysheva@gmail.com

Шалобаев Евгений Васильевич – кандидат технических наук, доцент, доцент, Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Российская Федерация, shalobaev47@mail.ru

Authors

Anna S. Demina – engineer, PJSC "Power machines", Saint Petersburg, 195009, Russian Federation, anyagladysheva@gmail.com

Evgeniy V. Shalobaev – PhD, Associate Professor, Associate Professor, ITMO University, Saint Petersburg, 197101, Russian Federation, shalobaev47@mail.ru