

Мониторинг рисков эксплуатации оборудования в режиме реального времени

**В.Н. Костюков, д.т.н.,
А.В. Костюков, к.э.н.
(НПЦ «Динамика»)**

Адрес для связи: post@dynamics.ru

Ключевые слова: мониторинг, риск, менеджмент, оборудование, техническое состояние.

В последние годы в отечественных и зарубежных нормативных документах значительное развитие получили системы стандартов, содержащие понятие «риск», а многие промышленные предприятия приступили к созданию систем риск-менеджмента в области техногенной безопасности с целью снижения затрат на техническое обслуживание и ремонт оборудования (ТОиР). В связи с этим необходимо отметить особенности риск-менеджмента в области техногенной безопасности. Во-первых, отказ от риска невозможен, так как это означает прекращение работы предприятий, эксплуатирующих опасные производственные объекты (ОПО). Во-вторых, принятие данного риска также невозможно, поскольку повышаются сложность и масштаб промышленного производства, следовательно, риск возрастает. В-третьих, передача данного риска – его страхование – неэффективна, так как наихудшие последствия аварий всегда приводят к невосполнимым потерям и не могут быть компенсированы денежными средствами. Таким образом, необходимо сконцентрировать усилия на снижении риска (ФЗ «О промышленной безопасности опасных производств и объектов» № 116-ФЗ от 21.07.97 г.).

В данной статье дано краткое представление механизма мониторинга риска пропуска отказов оборудования в режиме реального времени. Разработкой и совершенствованием этого вида мониторинга в течение

Real-time monitoring of machinery operation hazards

V.N. Kostyukov, A.V. Kostyukov (SPC Dynamics, RF, Omsk)

E-mail: post@dynamics.ru

Key words: monitoring, hazard, management, machinery, condition.

The article is devoted to real-time monitoring of the equipment failure omission risk using data from computer systems for accidents prevention and equipment health monitoring. To prove availability of connection between the equipment operating time in different states and the consequences that arise from adverse events, the necessity to determine such events and specify their consequences, as well as to calculate their occurrence frequency depending on operating time, has been shown. The article includes assessment of possible and probable failures consequences for the units being operated in an unacceptable technical state according to results of the monitoring systems implementation at Russian refineries. The authors have concluded that the automatic calculation and real-time monitoring of the units failure omission risk of hazardous production facilities can be performed only by stationary systems for the equipment health monitoring and presented to all the refinery management levels. This allows the management not only assumes but knows the existing risk level, which is conditioned by the prevailing housekeeping, as well as to make decisions aimed at risk decrease, i.e. to provide the most effective strategy of risk management.

последних 20 лет занимаются специалисты НПЦ «Динамика» с использованием систем компьютерного мониторинга для предупреждения аварий и контроля технического состояния оборудования КОМПАКС®. Системы созданы в Центре [2], внедрены на десятках предприятий, эксплуатирующих сотни ОПО в России и за рубежом, они позволяют контролировать состояние более 17 000 агрегатов, машин и механизмов около 1 700 типов.

Все основные факторы, обуславливающие высокие эксплуатационные затраты и потери от аварий, проявляются через ресурс оборудования, а совокупный ущерб непосредственно зависит от своевременности обнаружения неисправностей и адекватности действий персонала при потере ресурса вследствие износа элементов оборудования. Скорость реакции персонала на изменение состояния оборудования обусловлена двумя основными причинами: возможностью наблюдения за техническим состоянием оборудования и адекватностью реагирования на его ухудшение, которая обусловлена требовательностью менеджмента и его пониманием критичности ситуации. Следовательно, необходимо обеспечить мониторинг риска пропуска отказа оборудования в режиме реального времени, т.е. представить руководителям всех рангов финансовоую оценку вероятных затрат и потерь, которые возможны при существующих условиях эксплуатации

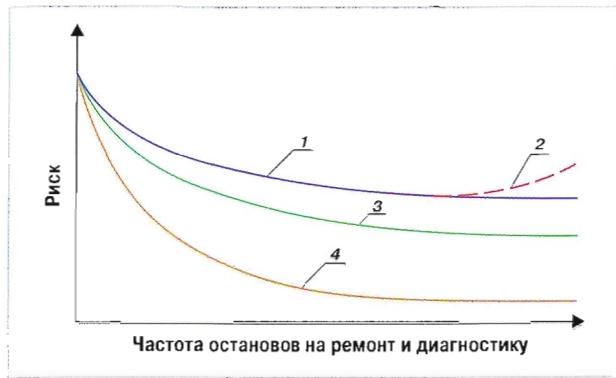


Рис. 1. Зависимость риска от частоты остановов на ремонт и диагностику при использовании программ ремонта, утвержденных действующими нормативными документами (1), избыточной инспекционной активности при использовании программ ремонта, утвержденных действующими нормативными документами (2), при реализации программ на основе RBI и RCM (3) и мониторинге неисправностей и технического состояния оборудования в режиме реального времени (4)

оборудования ОПО. Возможность наблюдения за процессом ухудшения состояния оборудования в режиме реального времени и высокая дисциплина персонала позволяют практически исключить риск аварийных ситуаций (рис. 1).

Данные о техническом состоянии оборудования, его неисправностях, развивающихся в нем дефектах и наиболее опасных узлах агрегатов представляются системами КОМПАКС® на все уровни управления производством. Системы автоматически определяют все основные классы неисправностей динамического оборудования, по каждому из которых выдают ряд предписаний, автоматически диагностируя дефекты центробежных и поршневых компрессоров, насосов, аппаратов воздушного охлаждения и другого оборудования [2, 3]. Многократный анализ результатов ремонтных работ, проведенных по предписаниям систем, показал, что все остановы агрегатов в состоянии «Недопустимо» были необходимы. В 100 % случаев подтверждены не только факты проведения ремонтов, но и дефекты оборудования, выявленные системами КОМПАКС®.

Системы разделяют состояние подконтрольного оборудования на три категории: «Допустимо» (далее Д, зеленый фон агрегата); «Требует принятия мер» (далее ТПМ, желтый фон агрегата); «Недопустимо» (далее НДП, красный фон агрегата). Каждое состояние можно интерпретировать в терминах риска пропуска отказа агрегатов, а с учетом их категорий, числа агрегатов и длительности нахождения в различных состояниях можно оценить риск пропуска отказа технологического объекта в целом в режиме реального времени. Чтобы обосновать наличие связи наработок оборудования в различных состояниях с последствиями негативных событий, необходимо определить эти события, разработать спецификацию их последствий, а также рассчитать частоту событий в зависимости от наработки оборудования.

Благодаря наличию в системах КОМПАКС® режима сохранения трендов построены эмпирические модели функций распределения эксплуатации (наработок) ма-

шинного оборудования в технических состояниях: Д (с момента пуска до перехода в ТПМ); ТПМ (с момента перехода в ТПМ до момента перехода в НДП); НДП (с момента перехода в НДП до останова); с момента перехода в ТПМ до останова, с момента перехода в НДП до останова; с момента пуска до останова (ГОСТ Р 53563-2009. «Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Порядок организации»). Для аппроксимации функций распределения наработок агрегатов и узлов в различных технических состояниях использовано распределение Вейбулла – Гнеденко [4]:

$$Q_i(t) = 1 - P_i(t) = 1 - e^{-\left[\left(\frac{t}{T_i}\right)^a\right]}, \quad (1)$$

где $Q_i(t)$ – функция исчерпания ресурса i -го агрегата в состоянии НДП; t – интервал работы i -го агрегата в соответствующем техническом состоянии, ч; $P_i(t)$ – функция надежности работы i -го агрегата в состоянии НДП; $e \approx 2,718$ – число Эйлера; T_i , a – положительные постоянные.

Необходимо отметить, что рассматриваются только последовательные изменения состояний оборудования в цикле останов – допустимо – требует принятия мер – недопустимо – останов – ремонт. В результате получены коэффициенты теоретических моделей функций распределения наработок машинного оборудования, эксплуатирующегося в различных технических состояниях, с довольно высокими значениями мер Линдера (0,96 и выше), что подтверждает соответствие этих моделей эмпирическим данным.

Выбор и обоснование объектов мониторинга осуществляются путем анализа технологической схемы завода и схемы работы технологических установок с учетом влияния отказов оборудования технологических комплексов, его простое или снижения мощности на технологический процесс и взрывопожароопасность всего предприятия. Все оборудование технологического комплекса распределяется на четыре категории опасности (ГОСТ Р 53563-2009), однако для мониторинга риска пропуска отказа достаточно наблюдать состояние оборудования 1 категории, внезапный отказ вызывает 80–90 % технико-экономических потерь производства, и 2 категории – 10–20 % потерь, так как затраты на ремонт или замену оборудования 3 и 4 категорий составляют менее 1 % эксплуатационных затрат, а риск аварии и потерь вследствие их отказа очень высок.

Наработка агрегатов в состоянии Д, т.е. с момента пуска агрегата до его перехода в состояние ТПМ, характеризуется тем, что в этот период ресурс агрегата остается достаточно большим (ГОСТ Р 53565-2009. «Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Вибрация центробежных насосных и компрессорных агрегатов»). Наработка агрегатов в состоянии ТПМ, т.е. с момента ухудшения состояния агрегата и его перехода в ТПМ до перехода в предельное состояние НДП, характеризуется тем, что в этот период деградация узлов агрегата существенно влияет

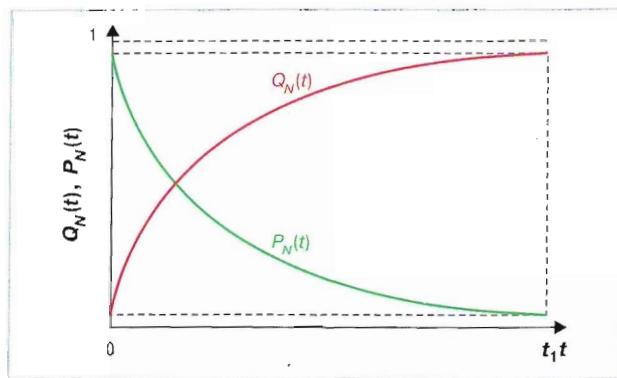


Рис. 2. Теоретическая модель распределения наработок оборудования до останова $Q_N(t)$ и безотказной эксплуатации оборудования до останова $P_N(t)$ в состоянии НДП

на его техническое состояние и остаточный ресурс агрегата значительно снижается. Несмотря на то, что риск пропуска отказа при эксплуатации агрегатов в состояниях Д и ТПМ присутствует, его величина несущественна. Погрешности расчета риска определяются рядом факторов, включая ошибку системы мониторинга, однако, так как в исследованиях авторов используются данные систем 1 класса, ее можно не определять (ГОСТ Р 53564-2009. «Мониторинг состояния оборудования опасных производств. Требования к системам мониторинга»).

На рис. 2 представлена наработка агрегатов в предельном состоянии НДП, т.е. с момента перехода агрегата в состояние НДП до останова, которая характеризуется тем, что в этот период деградация узлов агрегата достигает предельного уровня и его остаточный ресурс минимален. Вероятность безотказной работы ОПО в простейшем случае равна произведению вероятностей безотказной работы агрегатов 1 категории в состоянии НДП, следовательно,

$$P_{\text{опо}}(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\frac{(t_i-t_{ni})}{T_N}} = \prod_{i=1}^n e^{-\frac{t_{Ni}}{T_N}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{опо}}(t)$ – вероятность безотказной работы агрегатов 1 категории в состоянии НДП; n – число агрегатов 1 категории, эксплуатируемых в состоянии НДП; t_i – текущая наработка i -го агрегата в состоянии НДП; t_{ni} – момент перехода i -го агрегата в состояние НДП; $t_{Ni} = t_i - t_{ni}$ – наработка i -го агрегата 1 категории в состоянии НДП до останова; T_N – средняя наработка агрегатов в состоянии НДП до останова.

Вероятность отказа $Q(t)$ обратна вероятности безотказной работы $P(t)$, следовательно, вероятность отказа агрегатов 1 категории ОПО, эксплуатируемых в состоянии НДП, определяется по формуле

$$Q_{\text{опо}}(t) = 1 - P_{\text{опо}}(t). \quad (3)$$

Негативными последствиями эксплуатации агрегатов в состоянии НДП являются: 1) крайне высокая вероятность отказа и аварии, которая возрастает по мере наработки в состоянии НДП; 2) высокая вероятность

приостановки выпуска продукции; 3) необходимость устранения неисправности или дефекта агрегата, т.е. его ремонт.

По данным работ [5, 6] можно на примере нефтеперерабатывающих предприятий России оценить максимально возможные и вероятные последствия отказа агрегатов 1 категории, эксплуатирующихся в состоянии НДП. Так, по наиболее консервативным оценкам, средняя стоимость восстановления после аварии C_A составляет около 15 % стоимости ОПО, что для строящихся в современных условиях технологических установок равно около 100 млн. руб., а срок восстановления ресурса ОПО составляет от недели до 2 мес. Средняя стоимость простоя ОПО C_S при отказе оборудования составляет около 0,5 млн. руб/ч, что подтверждается расчетами, подготовленными для некоторых отечественных НПЗ. Средняя стоимость ремонта агрегата C_R , выведенного из эксплуатации в состоянии НДП, по оценкам авторов, равна около 0,2 млн. руб. Таким образом, по самой консервативной оценке средние потери от аварий, вызванных отказом агрегатов 1 категории, эксплуатируемых в состоянии НДП на ОПО в нефтепереработке, варьируют от 0,2 млн. руб. до 1 млрд. руб. Из работ [5, 6] также известны частоты некоторых негативных последствий, что позволяет оценить вероятные потери по формуле

$$C_{\text{опо}} = P_A C_A + P_S C_S + P_R C_R, \quad (4)$$

где P_A , P_S , P_R – соответственно вероятность наступления последствий аварии, простоя и ремонта.

В простейшем случае, полагая, что потери от отказа любого агрегата 1 категории опасности (ГОСТ Р 53563-2009) приводят к отказу ОПО, риск пропуска отказа ОПО можно рассчитать в режиме реального времени по формуле

$$R_{\text{опо}}(t) = C_{\text{опо}} Q_{\text{опо}}(t). \quad (5)$$

На рис. 3 приведен тренд риска пропуска отказа агрегатов технологической установки одного из НПЗ с учетом закона распределения вероятности пропуска отказа (5). В частности, видно, как в течение первых двух суток после пуска ОПО в эксплуатацию после остановочного ремонта число агрегатов и длительность их эксплуатации в состоянии НДП были причи-

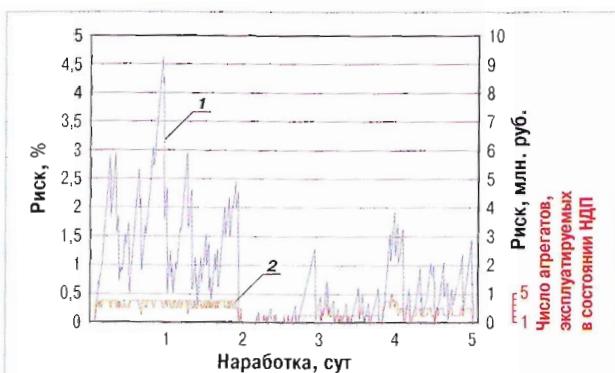


Рис. 3. Динамика риска пропуска отказа агрегатов ОПО в режиме реального времени (1) и числа агрегатов 1 категории, эксплуатируемых в состоянии НДП (2)

ной значительного риска пропуска отказа ОПО – на уровне 5 % или около 6 млн. руб. В течение этого времени персонал установки своевременно существенно сократил число агрегатов, эксплуатируемых в состоянии НДП, что позволило снизить уровень риска до 0,2–0,5 млн. руб. Благодаря мониторингу риска эксплуатации ОПО в режиме реального времени руководство НПЗ получило возможность оперативно реагировать на повышение риска. Это подтверждается на участке тренда от 3 до 5 сут эксплуатации комплекса, когда увеличение числа агрегатов в состоянии НДП не сопровождается ростом продолжительности их эксплуатации в таком состоянии, что характеризуется величиной риска на уровне 1,5–2 млн. руб. В свою очередь данный факт наглядно показывает, что персонал оперативно выполняет указания руководства, которое в режиме реального времени видит величину риска пропуска отказа оборудования при эксплуатации ОПО.

Таким образом, автоматический расчет и мониторинг риска пропуска отказа агрегатов ОПО в режиме реального времени могут быть выполнены стационарными системами мониторинга технического состояния оборудования [4] и представлены на все уровни управления предприятием в виде графика (см. рис. 3). Это позволяет менеджменту не предполагать, а определять существующий уровень риска, который зависит от сложившейся культуры производства на предприятии, и принимать решения, направленные на снижение риска, т.е. обеспечивать наиболее эффективную стратегию риск-менеджмента.

Список литературы

- Махутов Н.А., Гаденин М.М. Нормирование параметров прочности и риска в обеспечении техногенной безопасности//Химическая техника. – 2011. – № 1. – С. 12.
- Костюков В.Н. Мониторинг безопасности производства. – М.: Машиностроение, 2002. – 224 с.
- Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Костюков А.В. Автоматизированные системы управления безопасностью ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (АСУ БЭР – КОМПАКС®) / под ред. В.Н. Костюкова. – М.: Машиностроение, 1999. – 163 с.
- Шор Я.Б., Кузьмин Ф.И. Таблицы для анализа и контроля надежности. – М.: Советское радио, 1968. – 288 с.
- Костюков А.В., Костюков В.Н. Повышение операционной эффективности предприятий на основе мониторинга в реальном времени. – М.: Машиностроение, 2009. – 192 с.
- Отчет о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору. – http://www.gosnadzor.ru/activity/control/folder/index.php?phrase_id=10357

References

- Makhutov N.A., Gadenin M.M., *Rationing strength and risk parameters to technogenic safety* (In Russ.), Khimicheskaya tekhnika, 2011, no. 1, pp. 12-18.
- Kostyukov V.N., *Monitoring bezopasnosti proizvodstva* (Monitoring production safety), Moscow: Mashinostroyeniye Publ., 2002, 224 p.
- Kostyukov V.N., Boichenko S.N., Kostyukov A.V., *Automatizirovannye sistemy upravleniya bezopasnostyu resursosberegayushchey eksploatatsiyey oborudovaniya neftpererabatyvayushchikh i neftekhimicheskikh proizvodstv (ASU BER – KOMPAKS®)* (Automated control systems for resource saving exploitation of refining and petrochemical equipment (ACS BER – COMPACS®)), edited by Kostyukov V.N., Moscow: Mashinostroyenie Publ., 1999, 163 p.
- Shor Ya.B., Kuz'min F.I., *Tabeli dlya analiza i kontrolya nadezhnosti* (Tables for analysis and control of reliability), Moscow: Sovetskoe radio Publ., 1968, 288 p.
- Kostyukov A.V., Kostyukov V.N., *Povyshenie operatsionnoy effektivnosti predpriyatiy na osnove monitoringa v realnom vremenii* (Increase of operational efficiency on the basis of real-time monitoring), Moscow: Mashinostroyenie Publ., 2009, 192 p.
- URL: http://www.gosnadzor.ru/activity/control/folder/index.php?phrase_id=10357

ЧЕРНОМОРСКИЕ НЕФТЕГАЗОВЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ OIL & GAS BLACK SEA CONFERENCES

Международные научно-практические конференции

www.oilgasconference.ru +7 (861) 248-94-51 {-54} info@oilgasconference.ru



Строительство и ремонт скважин - 2014

Интеллектуальное месторождение: инновационные технологии от скважины до магистральной трубы

Организаторы:



ООО «НПО «НИТРО»

22 - 27 сентября 2014 г.
АНПА

Сбор, подготовка и транспортировка углеводородов - 2014

Современные технологии капитального ремонта скважин и повышения нефтеотдачи пластов. Перспективы развития



ООО «НПО «НИТРО»

20 - 25 октября 2014 года
СОЧИ



ООО «НПО «НИТРО»

март 2015 год
СОЧИ



ООО «НПО «НИТРО»

май 2015 год
ГЕЛЕНДЖИК



Информационные партнеры:



НЕФТЬ И ГАЗ НЕФТЬ И ГАЗ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ
ОСНОВАН В 1920 ГОДУ • ВЫПУСК 1092

9'2014

СЕМЬЯ

СОВРЕМЕННЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ в НЕФТЯНОЙ и ГАЗОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

УЧРЕДИТЕЛИ ЖУРНАЛА



УЧАСТНИКИ
ИЗДАНИЯ ЖУРНАЛА



Загинайко Д.В., Елин Н.Н., Попов А.П., Королёв М.Г., Васин Я.А.

Снижение энергозатрат в системах поддержания пластового давления и повышения нефтеотдачи путем оптимизации режимов работы насосных станций

Zaginayko D.V., Elin N.N., Popov A.P., Korolev M.G., Vasin Ya.A.

Decreasing of power efficiency in the system to maintain of reservoir pressure and enhance oil recovery through pump stations optimization

42

Костюков В.Н., Костюков А.В.

Мониторинг рисков эксплуатации оборудования в режиме реального времени

Kostyukov V.N., Kostyukov A.V.

Real-time monitoring of machinery operation hazards

46

Злотов А.В., Самородкин Д.В.

Оценка остаточных ресурсов эксплуатации оборудования опасного производственного объекта на основе динамической модели износа и старения

Zlotov A.V., Samorodkin D.V.

Estimation of residual resources of the equipment operation at dangerous industrial object on the basis of dynamic model of deterioration and ageing

50

СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ
STANDARDIZATION & TECHNICAL REGULATION

Примаков С.С., Жолобов И.А.

Измерение коэффициента теплопроводности многолетнемерзлых грунтов в интервале практически значимых температур

Primakov S.S., Zholobov I.A.

Measurement of the thermal conductivity of frozen soils in the range of practically significant temperature

55

ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ, ПРАВО
ECONOMY, MANAGEMENT, LAW

Понкратов В.В.

Налоговый маневр в нефтяной отрасли России

Ponkratov V.V.

Tax maneuver in Russian oil production industry

58

Уланов В.Л.

Критерий стратегического развития: адресность и ответственность

Ulanov V.L.

Criterion for strategic development: targeting and responsibility

62

ГЕОЛОГИЯ И ГЕОЛОГО-РАЗВЕДОЧНЫЕ РАБОТЫ
GEOLOGY & GEOLOGICAL EXPLORATION

Керимов В.Ю., Лавренова Е.А., Круглякова М.В., Горбунов А.А.

Перспективы нефтегазоносности п-ова Крым и западного побережья Азовского моря

Kerimov V. Yu., Lavrenova E.A., Kruglyakova M.V., Gorbunov A.A.

Oil and gas prospects of Crimea and West part of Azov Sea

66

Улучшение изображения подсолевых горизонтов. Коррекция модели

Improving subsalt imaging: building the right model

72

Туровская Е.М., Еремин Ю.Г.

Седиментационная модель терригенных пластов B_{13} и B_{10} Чонской группы месторождений

Turovskaya E.M., Eremin Y.G.

Sedimentary model of terrigenous reservoir layers B_{13} and B_{10} of Chonksy group of fields

74

Сунгатуллин Р.Х., Сунгатуллина Г.М., Осин Ю.Н., Трифонов А.А.

Космическое вещество в нефтеносных отложениях Среднего Каспия

Sungatullin R.Kh., Sungatullina G.M., Osin Yu.N., Trifonov A.A.

Cosmic matter in the oil sediments of the Middle Caspian

77

Журнал по решению ВАК Минобрнауки России № 8/13 от 02.03.12 г. включен в новый «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты докторских диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук», как научное периодическое издание, отвечающее достаточному условию включения в Перечень.

In accordance with resolution #8/13 dd March 2nd, 2012 of the Supreme Attestation Commission of the Ministry of education and Science of the Russian Federation the journal is included in the "List of top peer-reviewed scientific journals, which papers are considered for candidate and doctoral theses defense", as a scientific publication, which meets the requirements of the Commission.

EDITORIAL BOARD

V.N. ZVEREVA (Editor in chief)

N.N. ANDREEVA

N.G. BRUNICH

M.D. VALEEV

E.Kh. VEKILOV

D.V. VOLOKHOV

O.G. GORDEEV

A.G. GUMEROV

A.N. DMITRIEVSKIY

S.A. ZHDANOV

I.S. ZAKIROV

A.B. ZOLOTUKHIN

R.R. IBATULLIN

N.G. IBRAGIMOV

V.A. KLINCHEV

A.Yu. KORSHUNOV

N.I. KRYGIN

S.I. KUDRYASHOV

A.M. KUZNETSOV

A.M. MASTEPANOV

A.G. MESSER

N.N. MIKHAILOV

R.Kh. MUSLIMOV

V.I. OTT

B.I. POTAPOV

V.A. SAVELYEV

E.N. SAFONOV

R.Z. SAKHABUTDINOV

S.M. SOKOLOV

A.S. TIMCHUK

M.M. KHASANOV

E.Yu. KHUDAYNATOV

V.F. CHEKUSHIN

A.Kh. SHAKHVERDIEV

G.I. SHMAL

I.A. SHCHERBININ

Сдано в набор 18.08.2014

Подписано в печать 18.09.2014

Формат 64x90, 1/8.

Бумага мелованная

Печать офсетная. Усл.л.л. 7,5

Усл. кр.-отт. 10. Уч.-издл. 15

Тираж 5 000 экз. Заказ № 9.

Sent for printing 18.08.2014

Passed for printing 18.09.2014

Format 64x90, 1/8.

Offset printing

Circulation 5000

Отпечатано в ООО «Август Борг»

Цена свободная.

Перепечатка статей возможна только с письменного разрешения редакции.

Редакция не несет ответственности за достоверность информации, опубликованной в рекламных объявлениях