



## МОНИТОРИНГ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПО ВИБРАЦИИ ПОДШИПНИКОВЫХ ОПОР

Проф. д-р В.Н. Костюков, Е.В. Тарасов  
 НПЦ «Динамика» - Омск, Россия  
 E-mail: post@dynamics.ru, tarasov\_omsk@mail.ru

**Abstract.** The report addresses the real-time condition monitoring of technical state and automatic diagnosis of auxiliary equipment for bearings supports vibration, for example, control of the feed-pump operating modes of thermal power stations. The causes that lead to premature birth and development of defects in rolling bearings are identified and the development of activities ensuring safe and continuous operation of the auxiliary equipment of thermal power stations is carried out. Collection and analysis of vibration parameters of pumping units during their operation at the operating modes of the technological process are realized by means of real-time technical condition monitoring. Timely warning of the personnel on the operation of the unit with the "INTOLERABLE" technical state and automatic warning issuance of the need to change the technological process allowed to recover the estimated pump operation mode in due time and prevent further development of defects in equipment.

**Keywords:** rolling bearings, high-voltage motors, diagnosis, vibration, real-time monitoring

### 1. Введение

Все процессы жизнеобеспечения человечества в современном мире напрямую зависят от стабильности и качества потребляемой им электрической энергии. В связи с этим перед энергетиками ставится задача по обеспечению стабильного, бесперебойного процесса выработки электрической энергии. Для решения данной задачи необходим постоянный контроль за техническим состоянием оборудования электрических станций в процессе его работы. Однако в основной массе системами контроля и блокировки в эксплуатации оснащаются только основные энергетические механизмы, вырабатывающие электрическую энергию – турбины. В то же время для обеспечения работы одной турбины используется несколько десятков вспомогательного динамического оборудования, как то различного вида мельницы, дутьевые вентиляторы, дымососы, насосы, градирни. При этом многие вспомогательные агрегаты эксплуатируются без резерва, и внезапный их отказ приводит к снижению объема и качества вырабатываемой электрической энергии вплоть до полной остановки турбины.

Ведущую роль в обеспечении контроля за техническим состоянием динамического оборудования играет виброакустический метод неразрушающего контроля.

### 2. Решение проблем

Обеспечение вспомогательного оборудования электростанций системами автоматической диагностики и мониторинга технического состояния на базе виброакустического метода – реальный путь обеспечения безопасной и надежной эксплуатации электростанций [1] и стабильности обеспечения жизнедеятельности человечества.

#### 2.1 Системы автоматической диагностики и мониторинга технического состояния

В настоящее время известен ряд систем контроля состояния, мониторинга параметров и диагностики динамического

оборудования электрических станций. Ярким представителем таких систем является система [2], результаты использования которой будут рассмотрены в данной статье.

Система представляет собой в первую очередь сеть первичных преобразователей установленных непосредственно на вспомогательном динамическом оборудовании тепловой электростанции, датчики выполняют преобразование измеряемых параметров различных физических величин (вибрации, температуры, тока, давления и т.д.), в электрический сигнал. Электрический сигнал с датчиков по кабельным линиям связи поступает в программируемые интерфейсные модули для предварительной обработки и далее в диагностическую станцию для выполнения обработки и обеспечения визуального отображения в реальном времени полученных результатов измерений: значений измеряемого параметра, текущего технического состояния диагностируемого оборудования цветowymi пиктограммами (зеленый цвет – «Допустимо», желтый – состояние «Требует принятия мер», красный – «Недопустимо») и выдачи в автоматическом режиме диагностических предписаний (экспертных сообщений).

#### 2.2. Постоянный мониторинг - Режим «Монитор»

На экране «Монитор» системы, схематично представлено эксплуатируемое оборудование в интуитивно понятной любому человеку форме, основные измеряемые параметры по ГОСТ Р 53565-2009 [3], представлены в левой верхней части экрана, но самое главное – предписания автоматической экспертной системы в правой верхней части экрана «Монитор», которые необходимо выполнить персоналу для обеспечения безаварийной эксплуатации оборудования.

Согласно ГОСТ Р 53565-2009 [3] оценка вибрационного состояния агрегата осуществляется на основе совместных измерений виброускорения ( $A_e$ ), виброскорости ( $V_e$ ) и виброперемещения ( $Se$ ) на корпусе подшипниковых опор.

При переходе технического состояния агрегата в состояние «Недопустимо» по любому из контролируемых параметров, система выдает предупреждение персоналу посредством

речевого сообщения для принятия им незамедлительных мер по обеспечению безаварийной эксплуатации оборудования. В соответствии с действующими нормативными документами технологический персонал обязан выполнять рекомендации системы, а система опять же в автоматическом режиме, контролирует оперативность и качество выполнения предписаний по изменению состояния агрегатов и их узлов.

### 2.3 Постоянный мониторинг - Режим «Тренд»

Все измеряемые системой параметры накапливаются в базах данных за различные временные интервалы от 12 часов до 9 лет (12 часов, 4 и 40 суток, 1 год и 9 лет). На представленном четырех суточном тренде виброускорения подшипника переднего двигателя (ППД) видно, что чуть больше двух суток (Рисунок 1, участок 1) техническое состояние работающего агрегата «Допустимо», после этого происходит развитие дефекта в подшипнике и виброускорение растет (Рисунок 1, участок 2). Агрегат переходит в техническое состояние «Недопустимо». Система посредством речевого сообщения информирует персонал о необходимости выполнения работ по выводу агрегата из эксплуатации по причине разрушения подшипника которая обнаружена и указана автоматически, без участия диагностов. В течение 5 часов проведены подготовительные мероприятия и вывод агрегата из эксплуатации с последующим ремонтом (Рисунок 1, участок 3).

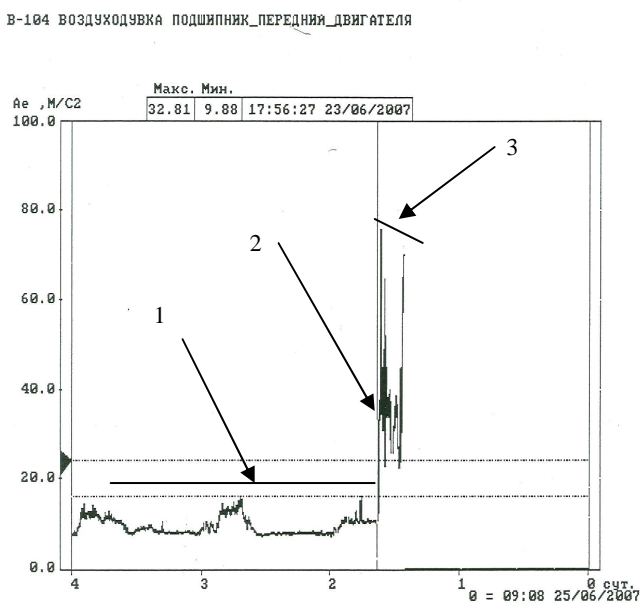


Рисунок 1. Тренд виброускорения (Ae) за 4 суток ППД  
 1-Период работы двигателя с техническим состоянием «Допустимо»;  
 2-Развитие дефекта в подшипнике, предупреждение персонала о переходе агрегата в техническое состояние «Недопустимо»;  
 3-Эксплуатация агрегата в техническом состоянии «Недопустимо», проведение подготовительных мероприятий для обеспечения останова

### 2.4 Автоматическая диагностика оборудования

Система обеспечивает надежное диагностирование дефектов подшипников, нарушение режимов смазки, нарушения связанные с ведением технологического процесса (кавитация, гидроудары и т.д.), нарушения центровки валов и балансировки вращающихся частей, ослаблений креплений, электромагнитных дефектов и прочее [4].

### 2.4.1 Нарушение режима эксплуатации оборудования

Необходимо отметить, что периодически технологическому персоналу для обеспечения работы энергоблока приходится эксплуатировать вспомогательное оборудование на режимах, отличных от паспортных, что безусловно сказывается на техническом состоянии таких агрегатов и их техническом ресурсе.

При работе питательного электронасоса ПЭ-500-180-3 на тепловой электрической станции персонал нарушил технологический режим работы насоса в результате чего давление на напоре было завышено примерно на 15 %, а расход занижен на 40 %, что привело к переходу технического состояния насоса в состояние «Недопустимо» - среднее квадратическое значение (СКЗ) виброускорения (Ae) составило 33,88 м/с<sup>2</sup>, СКЗ виброскорости (Ve) 13,22 мм/с, СКЗ виброперемещения (Se) составило 23,10 мкм (Таблица).

Таблица  
**СКЗ виброускорения, виброскорости, виброперемещения насоса ПЭ-500-180-3**

Подшипник	Направление	Ae, м/с <sup>2</sup>	Ve, мм/с	Se, мкм
Передний	Горизонтальное (X)	33,88	13,22	23,10
	Вертикальное (Y)	19,72	7,43	12,82
	Осевое (Z)	17,30	6,16	4,07
Задний	Горизонтальное (X)	7,91	3,72	5,76
	Вертикальное (Y)	12,16	4,59	5,71
	Осевое (Z)	13,68	3,27	4,66

В амплитудном спектре виброускорения (Рисунок 2) и виброскорости (Рисунок 3) преобладающей является лопастная частота рабочих колес насоса 349,2 Гц (22,83 м/с<sup>2</sup>; 10,39 мм/с) модулированная гармониками частоты вращения.

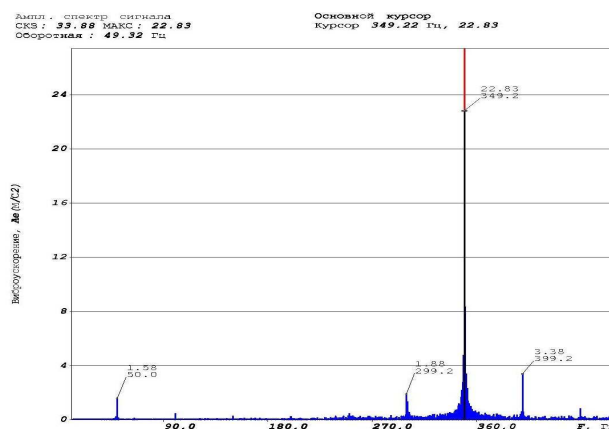


Рисунок 2. Амплитудный спектр виброускорения подшипника переднего насоса от 0 Гц до 450 Гц

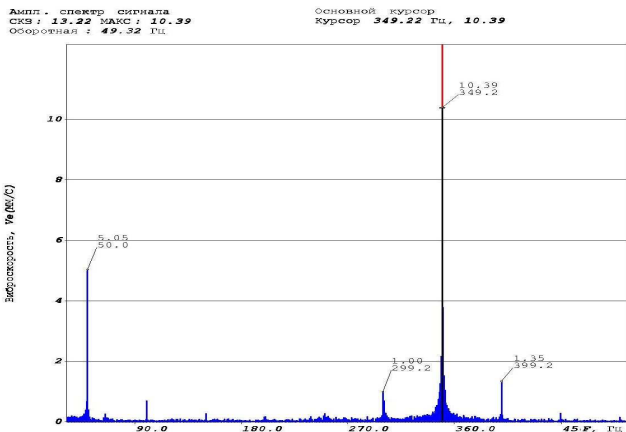


Рисунок 3. Амплитудный спектр виброскорости подшипника переднего насоса от 0 Гц до 500 Гц

В амплитудном спектре виброперемещения (Рисунок 4) преобладающей является оборотная частота (16,12 мкм), так же присутствует лопастная частота рабочих колес насоса 349,2 Гц (4,74 мкм) модулированная гармониками частоты вращения.

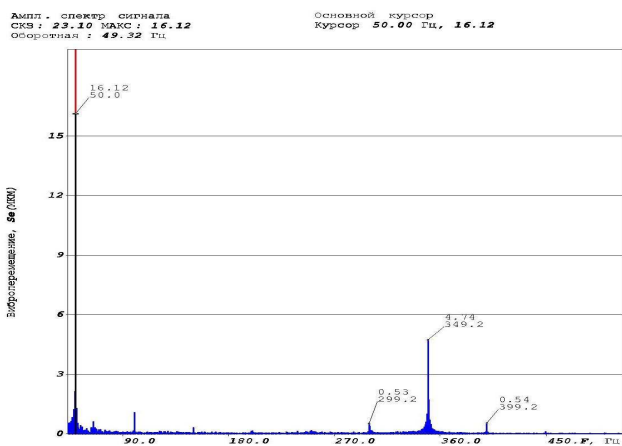


Рисунок 4. Амплитудный спектр виброперемещения подшипника переднего насоса от 0 Гц до 500 Гц

О присутствии дисбаланса в насосе говорит, тот факт, что в спектре виброперемещения (Рисунок 4) преобладает, а в спектре виброскорости (Рисунок 3) ошутимое влияние оказывает оборотная частота. Лопастная частота рабочих колес насоса модулирована оборотной частотой вращения в спектрах виброускорения, виброскорости и виброперемещения (Рисунок 2, 3, 4). Наличие дисбаланса является следствием нарушения режима работы насоса и имеет гидравлическое происхождение.

Длительная эксплуатация насоса с таким нарушением технологического режима неминуемо приведет к развитию дефектов в подшипниках насоса с последующей потерей работоспособности агрегата.

#### 2.4.2 Низкое качество ремонтных работ

При приемке питательного насоса после ремонта в эксплуатацию на тепловой электрической станции обнаружено высокое значение виброускорения на подшипнике заднем двигателе. Проведенный анализ спектральных составляющих вибрации показал, что максимум вибрации приходится на частоту прохода стержней (1701 Гц) модулированную двойной частотой сети и оборотными гармониками, что говорит о наличии электромагнитного дефекта двигателя – эксцентриситете магнитного зазора и перекосе ротора (Рисунок 5).

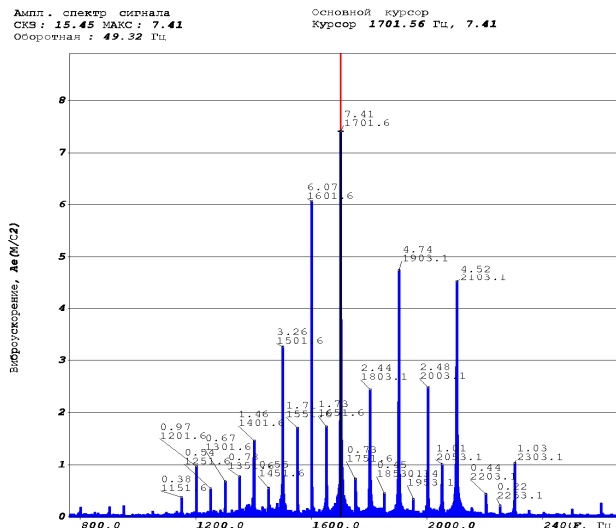


Рисунок 5. Амплитудный спектр виброускорения подшипника заднего двигателя в диапазоне от 800 Гц до 2500 Гц

Потребовалось выполнить повторные ремонтные работы для приведения агрегата к техническому состоянию «Допустимо».

### 3. Результаты и их обсуждение

Приведенные примеры диагностики оборудования подтверждают, что виброакустический метод неразрушающего контроля является очень чувствительным методом диагностики оборудования, который позволяет проследить развитие дефектов в оборудовании, изменение его технического состояния в процессе эксплуатации и своевременно предупредить персонал о необходимости принятия мер для исключения аварийных ситуаций.

### 4. Заключение

- 4.1 Применение виброакустического метода неразрушающего контроля в системах контроля за техническим состоянием вспомогательного оборудования электростанций позволяет автоматизировать процесс диагностики и постановки диагноза.
- 4.2 Оснащение машинного оборудования стационарной системой мониторинга технического состояния и автоматической диагностики позволяет устранить аварии, и исключились так называемые «внезапные» отказы. «Внезапность» возникает там, где нет наблюдаемости процесса зарождения и развития неисправности, роста её до критического уровня и достижения машиной предельного состояния.
- 4.3 Оснащение системами вспомогательного оборудования электростанций и, благодаря этому, переход на эксплуатацию по фактическому техническому состоянию, с планированием и выполнением работ по техническому обслуживанию и ремонту, на которые указывает система благодаря наличию встроенной автоматической экспертной системы поддержки принятия решения о текущих дефектах оборудования и степени их развития - вот реальный путь обеспечения надежной, безопасной ресурсосберегающей эксплуатации электростанций.

## Литература

1. Костюков В.Н. Мониторинг безопасности производства. Москва, Машиностроение, 2002, стр. 224.
2. Костюков В.Н. Автоматизированные системы управления безопасной ресурсосберегающей эксплуатацией оборудования нефтеперерабатывающих и нефтехимических производств (АСУ БЭР - КОМПАКС®). Москва, Машиностроение, 1999, стр. 163. (Костюков В.Н., Бойченко С.Н., Костюков А.В.)
3. ГОСТ Р 53565-2009. Мониторинг оборудования опасных производств. Вибрация центробежных насосных и компрессорных агрегатов. Москва, «Стандартинформ», 2010, стр. 5.
4. Костюков В.Н., Тарасов Е.В. Condition Monitoring and Diagnostics of Rolling Bearings of High-voltage Electric Motors during Their Operation. - COMADEM 2011: Proceedings of the 24th International Congress on Condition Monitoring and Diagnostics Engineering Management (May 30 – June 1, 2011). Norway, Stavanger, 2011. Pp. 900-904.



# NDT DAYS 2012

## ДНИ НА БЕЗРАЗРУШИТЕЛНИЯ КОНТРОЛ 2012

Под Патронажа на Президента на Федерацията на НТС - Акад. В. Сгурев

**Scientific Proceeding**

**Сборник доклади**

50<sup>th</sup> anniversary BGSNDT

50 ГОДИНИ ННТДА

XXVII International Conference  
“Defectosopia’12

XXVII Международна конференция  
“Дефектоскопия ’12”

Bulgarian-Russian Seminar  
“Diagnostics of energetic systems”

Българо - руски семинар “Диагностика  
на енергетични системи”

National seminar “NDT in railway”

Нац. семинар “БК в ж.п. транспорта”

Seminar “ShipInspector” (7EFP)

Семинар „Ship Inspector” (7 ЕРП)

Round table “Powder metallurgy”

Кръгла маса “Прахова металургия”

11-15.06.2012

11-15.06.2012

Sozopol

Созопол

Bulgaria

България

69	<p><b><u>МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ТЕПЛОВЫХ СЕТЕЙ НА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКЕ</u></b></p> <p><b><u>METHOD FOR RESEARCH OF TECHNICAL CONDITION UNDERGROUND THERMAL PIPELINES NETWORKS ON EXPERIMENTAL SETUP</u></b></p> <p>Ващипак И.Р. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, Украина, irazajka@list.ru</p>	273-276
70	<p><b><u>ВОЗМОЖНОСТИ БЕСКОНТАКТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МЕСТ ОТСЛОЕНИЯ ИЗОЛЯЦИОННОГО ПОКРЫТИЯ ПОДЗЕМНЫХ НЕФТЕГАЗОПРОВОДОВ ПУТЕМ АНАЛИЗА ИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ</u></b></p> <p><b><u>THE POSSIBILITY OF NON-CONTACT PLACES SEPARATION OF THE UNDERGROUND OIL-AND-GAS PIPELINE COATING STRATIFICATION BY THE ANALYSIS OF THEIR ELECTRICAL PARAMETERS</u></b></p> <p>Цих В.С., Яворский А.В., Ващипак С.П. Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, Украина, <a href="mailto:tvsv.vitalik@gmail.com">tvsv.vitalik@gmail.com</a></p>	277-280
71	<p><b><u>СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКОЙ ОПАСНОСТИ В ЗОНЕ ПРОЛЕГАНИЯ ПРОТЯЖЕННЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ</u></b></p> <p><b><u>SYSTEM OF GEODYNAMIC HAZARD FORECASTING IN THE AREA OF DRAWLING ENGINEERING UTILITIES</u></b></p> <p>Яворський А.В.<sup>1</sup>, Tahar Aifa<sup>2</sup>, Райтер П.М.<sup>1</sup>, Рибницький І.В.<sup>1</sup>, Ващипак С.П.<sup>1</sup> 1-Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, Украина, <a href="mailto:andryyus1978@gmail.com">andryyus1978@gmail.com</a>, 2- Geosciences Laboratory (CNRS UMR6118) at the University of Rennes 1 (Rennes, France)</p>	281-285
72	<p><b><u>ОЦЕНИВАНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПЕРСОНАЛА ПО НЕРАЗРУШАЮЩЕМУ КОНТРОЛЮ</u></b></p> <p>Белокур И.П., Гордонна Ю.О., Гревцова А.А. Национальный авиационный университет г. Киев</p>	286-287
73	<p><b><u>«ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ФАКТОР» И ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ</u></b></p> <p>Д.т.н., профессор Магид С.И., к.т.н. Архипова Е.Н. (TEST UNESCO – ЗАО «ТЭСТ»)</p>	288-292
74	<p><b><u>ДЕФЕКТОМЕТРИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ РИСКА АВАРИИ</u></b></p> <p><b><u>DEFECTOMETRY AT AN ESTIMATION OF RISK OF FAILURE</u></b></p> <p>Проф. Иванов В.И. (ЗАО НТЦ ПБ - Москва, Россия, <a href="mailto:ivi@istel.ru">ivi@istel.ru</a>), Власов И.Э. «Оргэнергонефть» - Самара, Россия, <a href="mailto:samfil@orgenergoneft.ru">samfil@orgenergoneft.ru</a>), Панчиков В.Н. (ОАО «Оргэнергонефть» - Самара, Россия, <a href="mailto:samfil@orgenergoneft.ru">samfil@orgenergoneft.ru</a>)</p>	293-296
75	<p><b><u>ВИБРОДИАГНОСТИКА ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ</u></b></p> <p><b><u>VIBRATION DIAGNOSTICS FOR GAS TURBINE MOTOR</u></b></p> <p>Проф., д.т.н. Игуменцев Е.А., доц., к.т.н. Прокопенко Е.А. Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков, Украина, e-mail: <a href="mailto:digaz@i.ua">digaz@i.ua</a></p>	297-299
76	<p><b><u>РОССИЙСКИЕ СТАНДАРТЫ В ОБЛАСТИ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ ОПАСНЫХ ПРОИЗВОДСТВ</u></b></p> <p>Проф., д-р техн. наук, Костоков В.Н., канд. техн. наук Бойченко С.Н., канд. техн. наук Науменко А.П. НПЦ «Динамика», Омск, Россия, <a href="mailto:post@physics.ru">post@physics.ru</a></p>	300-304
77	<p><b><u>МОНИТОРИНГ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ВИБРОАКУСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ПО ВИБРАЦИИ ПОДШИПНИКОВЫХ ОПОР</u></b></p> <p>Проф. д.тн В.Н. Костоков, Е.В. Тарасов</p>	305-308