

DOI: 10.12731/2658-4034-2021-12-3-48-62

УДК 378.147

ОПЫТ ПРЕПОДАВАНИЯ МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ДЕТАЛЯХ ОБОРУДОВАНИЯ

Г.И. Свердлик, А.Ю. Атаева

Аннотация. В технических вузах преподаются дисциплины, связанные с исследованиями оборудования, в которых имеется раздел об исследованиях напряженного состояния в деталях машин. Задачей статьи является изложение методики преподавания одного из разделов дисциплины «Исследование металлургических машин и оборудования» в Северо-Кавказском горно-металлургическом институте (государственном технологическом университете).

Цель. Обмен опытом преподавания дисциплины «Исследование металлургических машин и оборудования», одним из разделов которой является «Методы исследования напряженного состояния в деталях оборудования».

Актуальность работы состоит в полезности обмена опытом, анализе работ по преподаванию технических дисциплин, возможности распространения приведенного опыта на преподавание других технических дисциплин и получения отзывов на методику преподавания с целью совершенствования процесса преподавания.

Методика проведения работы. Обобщение опыта преподавания вышеуказанной дисциплины, состоящее в раскрытии содержания этапов:

1. Теоретическое изучение методов определения напряжений и деформаций: метода хрупких тензочувствительных покрытий, поляризационно-оптического метода, метода определения напряжений и деформаций по измерениям в отдельных точках с применением тензодатчиков. 2. Изучение тензометрических методов в лабораторных условиях с изучением конструкций тензодатчиков и месдоз на примере их применения для измерения усилия на валки прокатного

стана при прокатке. Кроме того рассмотрен пример применения тензодатчиков для определения крутящего момента на шпинделе лабораторного прокатного стана и приведены темы лабораторных работ. При описании лабораторных работ освещены методики их выполнения 3. Методы контроля усвоения студентами полученной информации и критерии оценки выполненных лабораторных работ.

Обсуждение результатов. Сделан вывод, что преподавание методов исследования напряженного состояния в деталях оборудования направлено на получение студентами знаний о данных методах и освоение умения пользоваться аппаратурой для исследований. При этом происходит закрепление знаний, полученных при изучении дисциплин «Физика», «Сопротивление материалов», «Электротехника» об эффектах, лежащих в основе методологии исследований.

Заключение. Рассмотренный опыт может быть полезен при преподавании дисциплин вида «Исследование металлургических машин и оборудования», а также других технических дисциплин, в которых изучается материал по исследованию напряженного состояния в деталях оборудования. Результативность обучения студентов по рассматриваемой дисциплине состоит в приобретении возможности использования студентами полученных знаний и умений в производственной деятельности по конструированию и эксплуатации металлургических машин и оборудования.

Ключевые слова: преподавание; методика; контроль освоения дисциплины; исследование; напряженное состояние; тензоэффект; тензодатчик; месдоза; напряжение; деформация

EXPERIENCE OF TEACHING STRESS STATE RESEARCH METHODS IN EQUIPMENT DETAILS

G.I. Sverdlik, A.Yu. Ataeva

Summary. In technical universities, disciplines related to equipment research are taught, in which there is a section on the study of the stress state in machine parts. The task of the article is to present the method-

ology of teaching one of the sections of the discipline “Research of metallurgical machines and equipment” at the North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University).

Purpose. Exchange of experience in teaching the discipline “Research of metallurgical machinery and equipment”, one of the sections of which is “Methods for researching the stress state in the details of equipment”.

The relevance of the work consists in the usefulness of the exchange of experience, the analysis of works on the teaching of technical disciplines, the possibility of extending the above experience to the teaching of other technical disciplines and receiving feedback on the teaching methodology in order to improve the teaching process.

Methodology for carrying out the work. Summarizing the experience of teaching the above discipline, consisting in disclosing the content of the stages: 1. Theoretical study of methods for determining stresses and strains: the method of brittle strain-sensitive coatings, the polarization-optical method, the method for determining stresses and strains from measurements at individual points using strain gauges. 2. Study of strain-gauge methods in laboratory conditions with the study of strain-gauges and mesdoses designs on the example of their application to measure the force on the rolls of a rolling mill during rolling. In addition, an example of the use of strain gauges for determining the torque on the spindle of a laboratory rolling mill is considered and the topics of laboratory work are given. When describing laboratory work, the methods of their implementation are highlighted 3. Methods of monitoring the assimilation of the information received by students and criteria for evaluating the laboratory work performed.

The discussion of the results. It is concluded that teaching methods for studying the stress state in the details of equipment is aimed at obtaining students’ knowledge of these methods and mastering the ability to use equipment for research. At the same time, the knowledge gained during the study of the disciplines “Physics”, “Resistance of Materials”, “Electrical Engineering” about the effects underlying the research methodology is consolidated.

Practical implications. The considered experience can be useful in teach-

ing disciplines of the type “Research of metallurgical machines and equipment”, as well as other technical disciplines, in which the material on the study of the stress state in the details of equipment is studied. The effectiveness of teaching students in this discipline consists in acquiring the opportunity for students to use the acquired knowledges and skills in production activities for the design and operation of metallurgical machines and equipment.

Keywords: *teaching; methodology; control of discipline development; research; stress state; strain effect; load cell; mesdose; stress; deformation*

Введение

В Северо-Кавказском горно-металлургическом институте (государственном технологическом университете) на кафедре «Технологические машины и оборудование» (ТМО) выпускают бакалавров и магистров по направлению подготовки «Технологические машины и оборудование», профиль «Металлургические машины и оборудование». Им преподается дисциплина «Исследование металлургических машин и оборудования». Одним из разделов этой дисциплины является «Методы исследования напряженного состояния в деталях оборудования».

Знание материала этого раздела имеет важное значение для проектирования металлургического оборудования и его эксплуатации. Для выполнения надежного проектирования оборудования необходимо знать и уметь получать экспериментальные значения характеристик напряженного состояния в деталях: напряжений и деформаций, потребляемой мощности и усилий, действующих в различных агрегатах – для сопоставления расчетных с действительными значениями величин.

Цель обмен опытом преподавания вышеуказанной дисциплины. Актуальность работы состоит в полезности обмена опытом, анализе работ [1-6] по преподаванию технических дисциплин, возможности распространения приведенного опыта на преподавание других технических дисциплин и получения отзывов на методику преподавания.

Методология проведения работы

1. Теоретическое изучение методов исследования оборудования.

В основе лежит комбинация репродуктивного метода с сообщением новой информации.

Студенты изучают методы определения напряжений и деформаций, из которых рассматриваются наиболее распространенные методы [7-15]:

– Метод хрупких тензочувствительных покрытий.

К ним относятся специальные лаки. Метод используется для изучения полей деформаций и напряжений на поверхности деталей при нагружении. Данный несложный метод позволяет экспериментальным путем выявить направление главных напряжений и наиболее нагруженные зоны в детали.

– Поляризационно-оптический метод.

Метод имеет одно из направлений в исследовании напряжений и деформаций – метод фотоупругости. Этим методом решаются плоские и объемные задачи для узлов, работающих в упругой области. При этом изготавливают прозрачные модели из материалов на основе эпоксидных смол и просвечивают поляризованным светом.

Метод обладает наглядностью и достаточной точностью.

– Метод определения напряжений и деформаций по измерениям в отдельных точках.

Измерение деформаций по точкам проводят с помощью приборов (тензометров), тензочувствительные части которых - тензодатчики устанавливают в этих точках.

При сравнительном анализе методов со студентами отмечается, что наиболее современными методами измерения деформаций и напряжений являются электрические методы. Поэтому данные методы рассматриваются более подробно в соответствии с рабочей программой дисциплины.

Измерение деформаций с помощью электрических методов возможно потому, что деформация тела вызывает изменение некоторых электрических параметров (сопротивления, емкости, индуктивности). Из электрических методов наибольшее распространение

получил метод, основанный на применении тензометров сопротивления – метод электротензометрии, в основе которого лежит явление тензоэффекта.

Рассматриваются преимущества тензометров.

В современных условиях тензометрию широко используют в металлургическом производстве. Фольговыми и проволочными тензодатчиками возможно исследовать машины в производственных условиях.

Поляризационно-оптический метод применяется реже, когда необходимо исследовать сложные детали на предмет определения распределения напряжений и их величины, например, в станине рабочей клетки прокатного стана.

Исследования энергосиловых параметров оборудования обычно проводят для выяснения возможностей повышения производительности, улучшения качества продукции.

2. Изучение тензометрических методов в лабораторных условиях.

На кафедре ТМО в СКГМИ (ГТУ) теоретическое и практическое изучение тензометрии осуществляется в лаборатории прокатного оборудования. В лаборатории установлен двухвалковый прокатный стан 170 с гладкими валками, подаренный институту Владикавказским заводом по обработке цветных металлов «Кристалл», на котором выполняются лабораторные работы. Поэтому изучение тензометрических методов исследования рассматриваются применительно к процессам прокатки.

Формы организации деятельности студентов на лабораторных работах – групповые.

Ниже рассмотрена методика выполнения лабораторных работ по рассматриваемой дисциплине.

– Изучение конструкций тензодатчиков и схем включения при измерении напряжений в деталях.

В лаборатории имеется стенд, на котором приведены образцы фольговых и проволочных датчиков. Кроме того на стенде рассмотрены способы закрепления тензодатчиков при различных видах нагружения деталей: растяжении, сжатии, изгибе, кручении. Рядом

со схемами установлены лампочки, а в правой части стенда кнопки с надписями. Студенты сначала перерисовывают в отчет по работе образцы тензодатчиков и схемы их закрепления на деталях. Далее производится опрос, и студентам предоставляется возможность показать на стенде правильный ответ на вопрос. При неправильном ответе следует нажать соответствующую кнопку и увидеть загорающуюся лампочку в нужном месте.

– Изучение конструкций месдоз для измерения силовых параметров.

Для правильной эксплуатации прокатного стана (контроля режима обжатия и нагрузки на валки) необходимо в процессе прокатки измерять полное давление металла (усилие) на валки. Кроме того, такие измерения позволяют судить о правильности теоретических формул, применяемых для определения полного и среднего давления на валки.

Для измерения усилия на валки при прокатке применяют различные приборы, датчики (месдозы) и устройства. Месдозы устанавливают в рабочей клетке между нажимными винтами и подушками верхнего валка или между подушками нижнего валка и нижними поперечинами станин.

Электрические месдозы применяют для более точного измерения усилий. Результаты измерения показываются стрелочным гальванометром и их можно также регистрировать при помощи осциллографа. В этих месдозах упругая деформация детали, испытывающей прямое давление при прокатке, преобразуется в электрический ток небольшой силы ($\mu\text{а}$) при помощи так называемых датчиков различного типа: емкостных, угольных, индуктивных, магнитострикционных и датчиков сопротивления. Электрические импульсы датчиков поступают в усилитель и после усиления регистрируются осциллографом.

Студенты изучают конструкцию следующих типов месдоз (рисунок 1) (с демонстрацией слайдов): *а* – емкостной, *б* – угольной, *в* – индуктивной, *г* – магнитострикционной (магнито-упругой), *д* – месдозы с датчиками сопротивления (тензодатчиками).

Кроме того изучается схема наклейки тензодатчиков непосредственно на стойку станины.

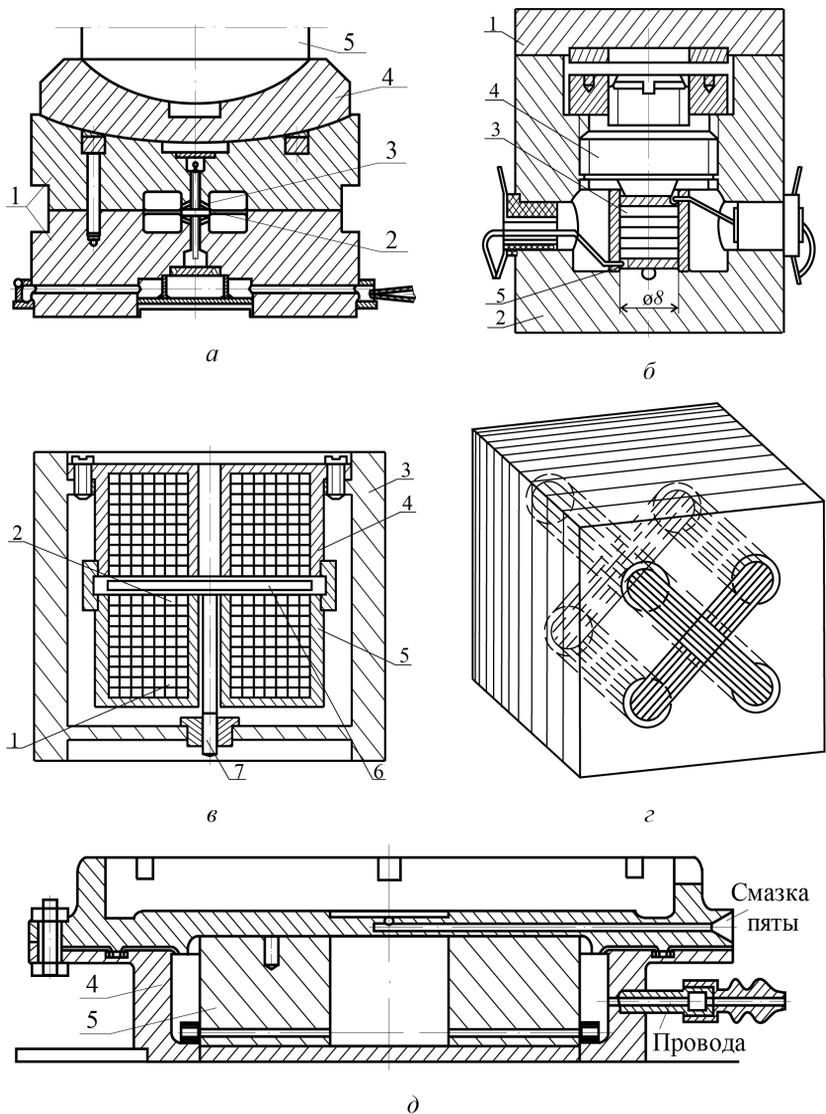


Рис. 1. Типы месдоз

– Определение момента прокатки на шпинделе лабораторного прокатного стана.

Крутящий момент является важной механической характеристикой, определяющей режимы работы рабочих клеток прокатных станов. Измерение крутящего момента используется при оценке:

- мощности, КПД;
- прочности материалов деталей при динамическом нагружении.

Для определения крутящего момента на шпинделе известен способ по показаниям ваттметра, включенного в схему подключения электродвигателя рабочей клетки к сети. Но наибольшей точностью обладают способы, основанные на измерении деформации кручения шпинделя с помощью тензорезисторов.

При проведении этой работы студенты знакомятся с методами применения тензометрии в условиях, аналогичных промышленным: креплением фольговых тензодатчиков на шпинделе прокатного стана, креплением токосъемных колец на шпинделе, со сборкой измерительной схемы и считыванием показаний приборов.

В этом случае тензодатчики наклеивают под углом 45° к оси шпинделя (рисунок 2), так как на поверхности шпинделя в этих направлениях действуют наибольшие напряжения – растягивающие и сжимающие.

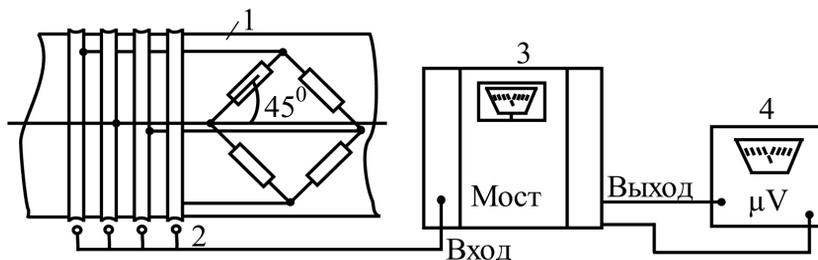


Рис. 2. Схема измерения крутящего момента при помощи тензодатчиков:

1 – шпиндель; 2 – токосъем; 3 – усилитель; 4 – контрольный прибор.

При проведении исследовательских работ в промышленных условиях при дефиците времени на установку датчиков при остановках стана чаще используют способ крепления фольговых датчиков на шпинделе с помощью аппарата точечной контактной сварки. Используемые тензодатчики перед испытаниями наклеивают на стальную пластинку толщиной 0,2-0,3 мм. Выводы датчиков по мостовой

измерительной схеме подсоединяют к токосъемным кольцам 2, от которых щетками снимается сигнал и передается на тензометрический усилитель 3. Далее сигнал передается на контрольный прибор (милливольтметр) или осциллограф [7-10].

– Тарировка тензодатчиков.

Поскольку при измерении электрическими приборами механических величин считывается не сама измеряемая величина, а пропорциональное значение тока или напряжения, перед испытаниями используемые датчики необходимо подвергнуть тарировке, например, на балке равного сопротивления. В данной лабораторной работе студенты осваивают методы тарировки тензодатчиков.

При этом выбираются датчики из той же партии, что и датчики для испытаний, располагаются на балке по эквивалентной схеме для деформации кручения шпинделя и крепятся на балке по принятому способу их крепления на шпинделе. Далее собирается схема, аналогичная показанной на рисунке 2 с теми же приборами: тензометрическим усилителем и контрольным прибором. Нагружая балку различными грузами (например, от 100 г до 1 кг), фиксируются показания контрольного прибора, рассчитывается коэффициент тарировки и строится тарировочный график, показывающий зависимость величины выходного сигнала от напряжения, возникающего в балке, а в последующем и в шпинделе. Далее замеряется выходящий сигнал на контрольном приборе (рисунок 2) и рассчитывается крутящий момент на шпинделе с учетом тарировки тензодатчиков.

3. Методы контроля усвоения студентами полученной информации и оценки выполненных лабораторных работ.

Текущий контроль за освоением дисциплины осуществляется на лабораторных занятиях в виде обсуждения работ с применением метода круглого стола. Результат обсуждения – формирование умения отвечать на вопросы по содержанию лабораторной работы. Умение пользоваться аппаратурой проявляется при собирании электрических схем, подключения аппаратуры, регулирования моста Уинстона, считывания показаний приборов. Критерии оценки выполненных работ объявляются на первом занятии. Поясняется, что участие в выполнении работ и их обсуждениях будет учитываться и оцениваться при

выставлении оценок по рейтингу. Рейтинг проводится два раза в семестр. В его общую оценку в баллах входит оценка по письменному ответу на теоретические вопросы тестирования (вопросы по методам исследования напряженного состояния деталей оборудования и по содержанию лабораторных работ) и по участию в выполнении работ (умение пользоваться аппаратурой) и обсуждениях. Результаты рейтингов учитываются при сдаче экзамена по дисциплине.

Обсуждение результатов

Преподавание методов исследования напряженного состояния в деталях оборудования направлено на получение студентами знаний о данных методах и освоение умений пользоваться аппаратурой для исследований. При этом происходит закрепление знаний, полученных при изучении дисциплин «Физика», «Сопротивление материалов», «Электротехника» об эффектах: тензоэффекте, фотоупругости, прохождении электрического тока через емкостное и индуктивное сопротивления, магнито-стрикции, и изучение способов их применения.

Заключение

Рассмотренный опыт может быть полезен при преподавании дисциплин вида «Исследование металлургических машин и оборудования», а также других технических дисциплин, в которых изучается материал по исследованию напряженного состояния в деталях оборудования. Проанализировано влияние современных методов преподавания на усвоение студентами полученной информации. Результативность обучения студентов по рассматриваемой дисциплине состоит в приобретении возможности использования полученных знаний и умений в производственной деятельности по конструированию и эксплуатации металлургических машин и оборудования.

Работа выполнена с привлечением аппаратуры ЦКП НО СКГМИ (ГТУ).

Список литературы

1. Потемкин А.Н., Викулов А.С., Крупнова А.В. Особенности преподавания специальных технических дисциплин в условиях современного

- высшего профессионального образования // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2014. Т. 20. С. 2876-2880. <http://e-koncept.ru/2014/54839.htm>.
2. Гусев А.Ф. Методика преподавания технических дисциплин в высших учебных заведениях // Материалы X Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». <https://scienceforum.ru/2018/article/2018002146>><https://scienceforum.ru/2018/article/2018002146> .
 3. Ишбаев И.С. Проблемы преподавания технических дисциплин в высших учебных заведениях и особенности работы со студентами // Материалы IX Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум». <https://scienceforum.ru/2017/article/2017031725>><https://scienceforum.ru/2017/article/2017031725>.
 4. Адырбекова Г.М., Пономаренко Е.В., Журхабаева Л.А., Карпекова К.С., Мусаева А.А. Обучение студентов технических специальностей в высшей школе: исследовательский подход // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2016. – № 4-4. С. 804-807. <https://s.applied-research.ru/pdf/2016/4-4/9080.pdf>
 5. Усманов Б. Ш., Жураева Г.Х., Ядгарова А.А. Инновационные методы обучения в преподавании технических дисциплин // Техника. технологии. Инженерия. 2017. № 2 (4). С. 10-13.
 6. Зарипов Р.Н., Зарипова И.Р. Формы и методы преподавания в современном техническом вузе // Вестник казанского технологического университета. 2011. № 23. С. 304-313.
 7. Ерохин М.Н., Шабанов Н.И., Серёгин А.А., Забродин В.П., Портаков А.Б. Детали машин: лабораторный практикум. М.:ФГОУВПО МГАУ. 2003. 173с.
 8. Забродин В.П., Портаков А.Б., Бутенко А.Ф. Техническая механика для учащихся факультета СПО: лабораторный практикум. Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ. 2016. 90 с.
 9. Мехеда В.А. Тензометрический метод измерения деформаций: учебное пособие. Самара: Изд. Самар. гос. аэрокосм. ун-та. 2011. 56 с. https://www.studmed.ru/meheda-v-a-tenzometricheskiy-metod-izmereniya-deformaciy_1cb3f423e97.html

10. Серьезнов А. Н., Шашурин А. К. Методы и средства измерений в прочностном эксперименте. М.: Изд. МАИ. 1990. 200 с.
11. Экспериментальная механика: пер. с англ.; под ред. А. Кобаяси. М.: Мир. 1990. 552 с.
12. Baldi. A. Full field methods and residual stress analysis in orthotropic material. II: Nonlinear approach // International Journal of Solids and Structures. 44(2007). 8244-8258.
13. Roliński Z. Tensometria oporowa. Podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań. Warszawa. WNT. 1981. 370 s.
14. Rossini N.S., Dassisti M., Benyounis K.Y. Methods of measuring residual stresses in components // Materials and Design. 35(2012) 572-588 s.
15. Styburski W. Przetworniki Tensometryczne. Warszawa. WNT. 1971. 86 s.

References

1. Potemkin A. N., Vikulov A. S., Krupnova A.V. Features of teaching special technical disciplines in the conditions of modern higher professional education [Features of teaching special technical disciplines in the conditions of modern higher professional education]. *Scientific and methodological electronic journal "Concept"*. 2014. Vol. 20. pp. 2876-2880.
2. Gusev A. F. Methods of teaching technical disciplines in higher educational institutions [Methods of teaching technical disciplines in higher educational institutions]. *Materials of the X International Student Scientific Conference "Student Scientific Forum"*. <https://scienceforum.ru/2018/article/2018002146>><https://scienceforum.ru/2018/article/2018002146>.
3. Ishbaev I. S. Problems of teaching technical disciplines in higher educational institutions and features of working with students [Problems of teaching technical disciplines in higher educational institutions and peculiarities of working with students]. *Materials of the IX International Student Scientific Conference "Student Scientific Forum"*. <https://scienceforum.ru/2017/article/2017031725>><https://scienceforum.ru/2017/article/2017031725>.
4. Adyrbekova G. M., Ponomarenko E. V., Zhurkhabayeva L. A., Karpekova K. S., Musayeva A. A. Training of students of technical specialties in higher school: a research approach [Teaching Technical Students in Graduate School: A Research Approach]. *International Journal of Ap-*

- plied and Fundamental Research*. 2016. № 4-4. pp. 804-807. <https://s.applied-research.ru/pdf/2016/4-4/9080.pdf>
5. Usmanov B. Sh., Zhuraeva G. Kh., Yadgarova A. A. Innovative teaching methods in teaching technical disciplines [Innovative teaching methods in teaching technical disciplines]. *Technique. technologies. Engineering*. 2017. № 2 (4). Pp. 10-13.
 6. Zariipov R. N., Zariipova I. R. Forms and methods of teaching in a modern technical university [Forms and methods of teaching in a modern technical university]. *Bulletin of the Kazan Technological University*. 2011. No. 23. pp. 304-313.
 7. Erokhin M. N., Shabanov N. I., Seryogin A. A., Zabrodin V. P., Portakov A. B. Machine parts: laboratory workshop [Machine parts: laboratory workshop]. Moscow: FGOUVPO MGAU. 2003. 173 p.
 8. Zabrodin V. P., Portakov A. B., Butenko A. F. Technical mechanics for students of the faculty of SPO: laboratory workshop [Technical Mechanics for Students of the Faculty of SVE: Laboratory Workshop]. Zernograd: Azov-Black Sea Engineering Institute of the Don State Agrarian University. 2016. 90 p.
 9. Meheda V. A. Tensometric method for measuring deformations: a textbook [Strain gauge method for measuring deformations: a tutorial]. Samara: Publishing house of the Samara State Aerospace. un-ta, 2011. 56 p. https://www.studmed.ru/meheda-v-a-tenzometricheskiy-metod-izmereniya-deformaciy_1cb3f423e97.html
 10. Serestnov A. N., Shashurin A. K. Methods and means of measurement in a strength experiment [Methods and measuring instruments in a strength experiment]. Moscow: Publishing house of MAI. 1990. 200 p.
 11. Experimental mechanics [Experimental Mechanics]: trans. from English; edited by A. Kobayashi. M.: Mir, 1990. 552 p.
 12. A. Baldi. Full field methods and residual stress analysis in orthotropic material. II: Nonlinear approach. *International Journal of Solids and Structures*. 44(2007). 8244-8258.
 13. Roliński Z.: Tensometria oporowa. Podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań. *Warszawa. WNT*. 1981. 370 s.
 14. Rossini N.S., Dassisti M., Benyounis K.Y. Methods of measuring residual stresses in components. *Materials and Design*. 35(2012) 572-588 s.
 15. Styburski W. Przetworniki Tensometryczne. *Warszawa. WNT*. 1971. 86 s.

ДАННЫЕ ОБ АВТОРАХ

Свердлик Григорий Иосифович, профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», доктор технических наук
Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)
ул. Николаева, 44, г. Владикавказ, РСО-Алания, 362021, Российская Федерация
grigory.sverdlik@gmail.com

Атаева Анжела Юрьевна, доцент кафедры «Технологические машины и оборудование», кандидат технических наук
Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)
ул. Николаева, 44, г. Владикавказ, РСО-Алания, 362021, Российская Федерация
angelaak@mail.ru

DATA ABOUT THE AUTHORS

Grigory I. Sverdlik, Professor of the Department «Technological Mashines and Equipment», Doctor of Technical Sciences
North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University)
Nikolaeva street, 44, Vladikavkaz, RSO-Alania, 362021, Russian Federation.
grigory.sverdlik@gmail.com
ORCID iD 0000-0002-3033-7232

Anzhela Y. Ataeva, Associate Professor of the Department «Technological Mashines and Equipment», candidate of Technical Sciences
North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University)
Nikolaeva street, 44, Vladikavkaz, RSO-Alania, 362021, Russian Federation.
angelaak@mail.ru
ORCID iD 0000-0001-7409-9603