

Функционал  $\Pi(u, w, \varphi, T_{sy}^f, \varepsilon_{ss}^f)$  зависит от четырех варьируемых функций: двух перемещений  $u$  и  $w$ , угла поворота  $\varphi$ , усилия  $T_{sy}^f$ , которое имеет физический смысл перерезывающей силы, и окружной деформации-функции  $\varepsilon_{ss}^f$ .

Преимущества такого построения функционала изложены в [2]. В линейной части функционала ( $\Pi^L$ ) первое слагаемое является энергией упругих деформаций, второе – работой поверхностной силы, третий реализует геометрическую часть гипотез Кирхгофа – Лява методом множителей ( $T_{sy}^f$ ) Лагранжа, четвертый способствует уменьшению мембранного; коэффициент  $C_{ss} = E_{ss} / (1 - \nu_{sz} \nu_{zs})$ ;  $\Omega$  – область срединной поверхности оболочки. В нелинейной части функционала ( $\Pi^N$ ) нелинейные составляющие усилий  $T_{ss}^{Nf}$  и  $T_{zz}^{Nf}$  в отличие от  $T_{ss}^L$  и  $T_{zz}^L$  зависят от деформации-функции  $\varepsilon_{ss}^f$ , а не деформации-формулы  $\varepsilon_{ss}$ . Следует отметить использование в (2) обозначений верхним индексом ( $f$ ) для усилий и деформации, что подчеркивает различие между величиной-формулой и величиной-функцией и имеет определенное методологическое значение.

В такой способ линеаризованная задача сводится к нахождению вариационно-разностным методом [2] в каждом приближении стационарных значений функционала  $\Pi^{LN} = \Pi^L + \Pi^N$ .

С использованием изложенной методики было исследовано НДС ряда изотропных металлических и ортотропных композитных оболочек различной геометрии с учетом и без учета физической нелинейности. Анализ результатов расчетов позволил сформулировать ряд обобщающих выводов.

Так, дополнительное варьирование в смешанном функционале заранее малой мембранной деформации значительно улучшает сходимости численного метода при наличии мембранного запираения. Учет физической нелинейности ведет к уменьшению напряжений и увеличению прогибов и деформаций у полюсов эллипса цилиндрической оболочки. Выявлено, что окружные напряжения в нелинейно-упругой оболочке зависят от свойств материала, в отличие от линейно-упругой оболочки. Можно ожидать, что при деформировании очень тонких некруговых цилиндрических оболочек геометрическая нелинейность проявится при более низких уровнях нагрузок, чем физическая.

#### Список литературы

- 1 **Абросов, Ю. Ю.** Деформування довгої тонкої циліндричної оболонки еліптичного перерізу / Ю. Ю. Абросов, В. А. Максимюк, В. С. Тарасюк // Вісник Запорізького національного університету. Фізико-математичні науки. – 2015. – № 2. – С. 5–10.
- 2 **Maksimyuk, V. A.** Variational Finite-difference Methods in Linear and Nonlinear Problems of the Deformation of Metallic and Composite Shells (review) / V. A. Maksimyuk, E. A. Storozhuk, I. S. Chernyshenko // Int. Appl. Mech. – 2012. – Vol. 48, no. 6. – P. 613–687.
- 3 **Концентрация напряжений** / А. Н. Гузь [и др.]. – Киев : А.С.К., 1998. – 387 с. – (Механика композитов: в 12 т. Т. 7).
- 4 **Ломакин, В. А.** О теории пластичности анизотропных сред / В. А. Ломакин // Вестник Московского университета. Серия Математика. Механика. – 1964. – № 4. – С. 49–53.

УДК 535.243.25

### ПРАКТИКУМ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО КОНТРОЛЮ И НАДЗОРУ В СФЕРЕ БЕЗОПАСНОСТИ НА ТРАНСПОРТЕ И В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

*В. А. АКСЁНОВ, С. М. КОКИН, Е. К. СИЛИНА*  
*Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва*

Согласно Квалификационному справочнику должностей руководителей, специалистов и служащих [1], руководители службы охраны труда предприятия и специалисты по охране труда обязаны контролировать выполнение мероприятий, направленных на создание здоровых и безопасных условий труда персонала. Контроль и анализ ситуации на рабочем месте проводятся в ходе специальной оценки условий труда, процедуры, призванной выявить негативные факторы, воз-

действию которых подвергается сотрудник в течение рабочего дня. Однако такая оценка проводится раз в пять лет, в то время как заметные изменения условий труда могут происходить чаще (по причине модернизации или, наоборот, старения техники, частичной реконструкции производственных помещений, перехода к выпуску новой продукции). Именно поэтому ответственное исполнение своих обязанностей специалистами, занимающимися вопросами безопасности труда на транспорте и в промышленности, невозможно без осуществления постоянного мониторинга условий труда на «проблемных» рабочих местах предприятия, без самостоятельной оценки (измерения) уровня тех воздействий, которые способны негативно сказаться на здоровье сотрудников.

Навыки работы с измерительными приборами, корректной обработки и интерпретации данных измерений можно приобрести во время учёбы в вузах и на различных курсах (в том числе – курсах повышения квалификации). Но достаточно часто программа обучения предусматривает рассмотрение лишь теоретических вопросов, а приобретению учащимися опыта реальной работы с измерительной техникой уделяется существенно меньшее внимание. Частично это связано и с тем, что те приборы, которыми проводятся необходимые измерения (и которые внесены в Госреестр средств измерений), как правило, не дешёвы, и поэтому приобретаются, главным образом, сертифицированными организациями (специализированными лабораториями, центрами). Более того, оперативно отслеживать тенденции развития соответствующей техники при отсутствии в учебном центре её современных образцов довольно затруднительно, потому даже те преподаватели, которые знакомят учащихся с существующими средствами измерений, сами не всегда имеют полное представление о возможностях вновь появляющейся аппаратуры.

Оперативная оценка условий труда может быть связана не только с использованием определённых приборов, но и с выбором конкретной методики контроля параметров окружающей среды. Известно, что комплекс таких методик можно условно разделить на следующие группы: а) визуальные и органолептические; б) химические; в) физико-химические; г) физические; д) биологические. Обучению работе по этим методикам обычно посвящается учебный практикум: создаются лабораторные работы, которые обеспечиваются методическими указаниями, включающими, в частности, сведения о технических характеристиках соответствующих измерительных приборов, внесённых в Госреестр.

Но технически провести лабораторную работу, требующую использования химической посуды, реактивов, наличия вытяжного шкафа, водопровода и канализации, а главное, организованной, осмысленной и аккуратной работы студентов, весьма не просто. Выработка у учащихся (в том числе – слушателей курсов повышения квалификации) навыков такой деятельности требует времени, которого обычно мало, поэтому от освоения учащимися некоторых методик приходится отказываться. Проблемы возникают и с проведением измерений приборами, внесёнными в Госреестр: они, как правило, имеют высокую стоимость, и отдавать их в руки неподготовленной аудитории просто жалко. Поэтому подобная аппаратура на обычных занятиях только демонстрируется, а реально её эксплуатируют лишь аспиранты и некоторые студенты-дипломники.

Анализ паспортов рабочих мест значительного числа городских предприятий (в том числе транспортных), беседы со слушателями курсов повышения квалификации отчётливо показывают, что отклонения от норм, установленных СанПиНами, в большинстве случаев связаны с физическими факторами: именно они отмечаются, как негативные и наиболее существенные при специальной оценке условий труда. Речь идёт о шуме и вибрациях, электромагнитных полях (промышленной частоты и высокочастотных, например, от станций сотовой связи), о радиационном фоне, о параметрах микроклимата (температуре, влажности и аэроионном составе воздуха), а также об освещённости (рабочего места, рабочей зоны). Таким образом, в условиях ограниченного времени, отводимого учебными планами на знакомство с измерительной базой, можно исключить из плана лабораторных работ часть методик измерений, оставив лишь физические (и, возможно, некоторые физико-химические) [2]. Существенно также то, что во всех подобных случаях для выполнения измерений могут быть использованы пусть и не внесённые в Госреестр, но зато более простые в эксплуатации и при этом относительно недорогие приборы «бытового уровня».

Исходя из приведённых соображений, нами в итоге сформирован лабораторный практикум по оценке условий труда для обучения студентов и специалистов по контролю и надзору в сфере безопасности в промышленности и на транспорте [3]. Практикум имеет следующие особенности:

– подобраны комбинации приборов, которые, с одной стороны, позволяют давать оценку условий труда, и, с другой стороны, обладают невысокой стоимостью, то есть оказываются оптимальными для организации учебного процесса по выработке навыков соответствующей оценки;

– сформирован набор учебно-методических материалов, позволяющих уверенно работать с данными приборами;

– разработаны рекомендации по выполнению лабораторного практикума, учитывающая особенности рабочих учебных планов подготовки бакалавров профилей «Безопасность жизнедеятельности в техносфере» и «Инженерная защита окружающей среды», магистров профиля «Управление охраной труда в компании», а также слушателей курсов повышения квалификации Отраслевого центра охраны труда, промышленной, пожарной безопасности и экологии при Российской открытой академии транспорта РУТ (МИИТ).

Невысокая стоимость подобранных комплектов приборов позволяет иметь их практически везде. Вместе с методическими рекомендациями по использованию подобные комплекты могут стать существенным подспорьем в работе специалистов службы по охране труда на любом промышленном, транспортном предприятии, значительно повышая эффективность работы этой службы в оперативном выявлении «проблемных» мест производственного процесса [4].

Аналогичные комплекты приборов могут применяться и в быту. Как известно, несмотря на постоянно обсуждаемую в средствах массовой информации тему «борьбы» за экологию, существенных сдвигов к лучшему в «зелёной» сфере пока всё же не происходит. В связи с этим задача обеспечения возможности оценки уровня электромагнитных полей, шума, радиационного фона у себя дома, в местах отдыха (например на даче) является достаточно актуальной.

Поскольку речь идёт об измерении физических факторов, подобный практикум может быть возвращён даже в обычной средней школе в рамках дисциплин «Физика» и «Основы безопасности жизнедеятельности». Способствовать этому могла бы организация производства недорогих отечественных комплектов приборов, которые не только оказались бы востребованы в школе (как в высшей, так и в средней), но и помогли бы вывести мероприятия по обеспечению требований охраны труда и экологического мониторинга окружающей среды на новый уровень, дав возможность участвовать в них любому желающему. Создание этих комплектов могло бы стать одной из задач фирм, занимающихся разработкой учебного оборудования и бытовой измерительной техники.

#### Список литературы

1 Квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и других служащих (2021 г.). – М. : 2021. – 319 с.

2 Аксёнов, В. А. Формирование модульного лабораторного практикума по измерению физических параметров окружающей среды / В. А. Аксёнов, Н. В. Калачев, С. М. Кокин // Физическое образование в вузах. – 2016. – Т. 22, № 4. – С. 58–71.

3 Аксёнов, В. А. Модульный лабораторный практикум по обучению основам экологического мониторинга / В. А. Аксёнов, С. М. Кокин, В. А. Никитенко // Проблемы безопасности российского общества. – 2018. – № 2. – С. 69–75.

4 Экология транспорта и устойчивое развитие : учеб. / под общ. ред. И. В. Карапетьянц, Е. И. Павловой. – М. : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2019. – 370 с.

УДК 539.3

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПАНТОГРАФИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ И КОНСТРУКЦИЙ НА ИХ ОСНОВЕ

*А. В. БАБАЙЦЕВ, С. С. ЛОПАТИН*

*Московский авиационный институт (НИУ), Российская Федерация*

Благодаря развитию технологии аддитивного производства становится возможным получать изделия сложной формы. В частности, становится возможным получение пантографических конструкций малыми усилиями. Рассматриваются конструкции с подвижными элементами, имеющие градиентную природу материала. Подобные материалы называются метаматериалами. Были получены экспериментальные результаты исследования пантографических структур, из полиамида, полученных с применением аддитивного производства, по технологии SLS. Исследования проводились на растяжение. Для этого были получены прямоугольные образцы с уси-