

УДК 678.057:620.17:539.4

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ РАЗОРИЕНТАЦИИ
АРМИРОВАНИЯ НА ДЕФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ И
СОПРОТИВЛЯЕМОСТЬ РАЗРУШЕНИЮ СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ
ТРУБ ПРИ ОСЕВОМ РАСТЯЖЕНИИ И ВНУТРЕННЕМ
ГИДРОСТАТИЧЕСКОМ ДАВЛЕНИИ**

Карапետян К.А., Валесян С.Ш., Мурадян Н.С.

Ключевые слова: стеклопласт, трубчатый элемент, разориентация армирования, растяжение, внутреннее гидростатическое давление, деформация, сопротивляемость разрушению.

Karapetyan K.A., Valesyan S.Sh., Muradyan N.S.

The influence of the reinforcement disorientation on the deformative behavior and resistance to fracture of the glass-plastic tubes subjected to the axial tension and inner hydrostatic pressure

Key words: glass-plastic, tubular element, disorientation of reinforcement, tension, inner hydrostatic pressure, strength, resistance to fracture.

The problem of influence of the technological reinforcement disorientation in limits of $6-8^\circ$ from its zero value on the character of the deformative behavior and resistance to fracture of the layered glass-plastic tubular elements subjected to the axial tension or inner hydrostatic pressure is discussed. It is shown that the disorientation of reinforcement for the pointed out limits does not practically influence on the resistance to fracture of the glass-plastic tubes subjected to the above-mentioned forces. Meanwhile, in regard with the general strains such as longitudinal one- for the tension and circular- for the inner hydrostatic pressure, the shear strains are appeared in disoriented glass-plastic tubes. The problem of the reduction to the minimum of the negative influence of the reinforcement disorientation on the operation of the reinforced composite tubular elements is suggested to solve in a constructive way.

Կարապետյան Կ.Ա., Վալեսյան Ս.Շ., Մուրադյան Ն.Ս.

Ամրանավորման ուղղության տեխնոլոգիական ապակողմնորոշման ազդեցությունն ապակեպլաստե խողովակների դեֆորմացիոն վարքի և քայքայման դիմադրողականության վրա առանցքային ճգման և ներքին հիդրոստատիկ ճնշման դեպքերում

Հիմնաբառեր՝ ապակեպլաստ, խողովակաձև տարր, ամրանավորման ապակողմնորոշում, ճգում, ներքին հիդրոստատիկ ճնշում, ամրություն, դեֆորմացիա, քայքայվելուն դիմադրողականություն:

Քննարկվում է նախագծված գրոյական արժեքից $6-8^\circ$ սահմաններում ամրանավորման ուղղության տեխնոլոգիական ապակողմնորոշման ազդեցությունը շերտավոր ապակեպլաստե խողովակների դեֆորմացիոն վարքի առանձնահատկությունների և քայքայմանը դիմադրելու վրա նրանց առանցքային ճգման կամ ներքին հիդրոստատիկ ճնշման ենթարկելիս: Ցույց է տված, որ ամրանավորման ուղղության ապակողմնորոշումը հիշյալ սահմաններում գործնականում չի ազդում ապակեպլաստե խողովակների քայքայման դիմադրողականության վրա վերը նշված ուժային գործոնների ազդեցության դեպքերում: Բացահայտված է, որ ամրանավորման ապակողմնորոշմամբ ապակեպլաստե խողովակներում առաջանում են նաև սահքի դեֆորմացիաներ, որոնք ուղեկցում են հիմնական դեֆորմացիաներին. երկայնականին՝ խողովակների առանցքային ճգման դեպքում և շրջանայինին՝ նրանց ներքին հիդրոստատիկ ճնշման ենթարկելիս: Ամրանավորված կոմպոզիտներից պատրաստված խողովակաձև կառուցվածքային տարրերի աշխատանքի վրա

ամբանավորման ապակողմնորոշման բացասական ազդեցությունը նվազագույնի հասցնելու խնդիրն առաջարկվում է լուծել կոնստրուկտիվ եղանակով:

Обсуждается вопрос влияния технологической разориентации армирования в пределах $6-8^{\circ}$ от нулевого его значения на специфику деформационного поведения и сопротивление разрушению слоистых стеклопластиковых трубчатых элементов при осевом растяжении или внутреннем гидростатическом давлении.

Показано, что разориентация армирования в упомянутых пределах практически не влияет на сопротивляемость разрушению стеклопластиковых труб при указанных выше силовых воздействиях.

Выявлено, что у разориентированных труб возникают и сдвиговые деформации, сопутствующие основным: продольным при осевом растяжении и кольцевым при внутреннем гидростатическом давлении.

Задачу сведения к минимуму отрицательного влияния разориентации армирования на работу трубчатых элементов из армированных композитов предлагается решать конструктивным путём.

Введение

Методы расчётов изделий из конструктивно-анизотропных материалов, в том числе, и из армированных пластиков, основываются на построении идеальной модели, состоящей из прямолинейных армирующих наполнителей, равномерно распределённых по строго определённым направлениям в податливой матрице [1; 2]. На практике, однако, реальная структура армированных композитов отличается от указанной модели, а, следовательно, в изделиях и конструкциях, изготовленных из таких материалов, невозможно отрицать возникновение технологических микро- и макродефектов [3; 4; 5; 6 и др.].

Одним из распространённых макродефектов структуры армированных композитов является разориентация армирования, т.е. отклонение направления армирующих волокон в слоях материала от проектируемого. Это явление, связанное, в основном, с несовершенством переработки композитов в изделие, может привести к существенному отличию показателей механических характеристик материала в изделиях от данных, полученных в результате испытания стандартных опытных образцов, изготовленных, как правило, более тщательно [2]. Отмеченное указывает на то, что при изготовлении конструкционных объёмных изделий, имеющих сложную геометрическую форму, вероятность разориентации армирующего наполнителя может проявиться в большей степени [3; 6].

В данной работе исследуется вопрос влияния технологического отклонения величины угла армирующих волокон от его заданного значения на специфику деформационного поведения и сопротивляемость разрушению стеклопластиковых труб, подвергаемых осевому растяжению или внутреннему гидростатическому давлению.

1. Методика проведения исследований

При изготовлении стеклопластиковых труб на основе стеклоткани в лабораторных условиях было обнаружено вышеупомянутое явление разориентации армирования наполнителя [6]. Трубы были изготовлены таким образом, чтобы направление основы стеклоткани совпадало с направлением их продольной оси ($\varphi = 0^{\circ}$). Однако, в результате проведённых измерений, у части труб (около 7% от общего количества) наблюдалось отклонение угла армирования от заданного в пределах $6-8^{\circ}$.

Для решения рассматриваемых в данной работе задач были изготовлены 2 партии тканевых стеклопластиковых трубчатых образцов. У труб одной партии величина угла между направлениями основы стеклоткани и их продольной оси составляла $\varphi = 0^{\circ}$, а у другой – $\varphi = 6-8^{\circ}$.

В случае экспериментального изучения влияния разориентации армирования на деформационное поведение и на сопротивляемость разрушению труб при осевом растяжении была использована часть из вышеуказанных двух партий трубчатых образцов с внутренним диаметром 38мм, толщиной стенки 2.25мм и длиной 285мм, изготовленных на основе стеклоткани полотняного переплетения марки Т-23 (ТУ 6-11-231-76) с отношением вязки основы и утока 1,8:1,0. Образцы были получены методом намотки, предварительно пропитанной модифицированной эпоксидной смолой стеклоткани на металлическую оправку с последующим горячим прессованием по боковой поверхности в специальных формах [7]. Величина коэффициента армирования стеклопластика составляет $\mu = 0.45$ ($\mu_{\text{основа}}=0.29$, $\mu_{\text{уток}}=0.16$). До проведения экспериментов опытные образцы после изготовления в течение 8 лет хранились в лабораторном помещении при температуре $20\pm 6^\circ\text{C}$ и относительной влажности $60\pm 8\%$.

Изучение влияния разориентации армирования на сопротивляемость разрушению и деформационное поведение стеклопластиковых труб при внутреннем гидростатическом давлении было осуществлено с использованием опытных образцов, полученных из остальной части указанных выше стеклотканевых труб (исходные образцы) при помощи шлифования. Внешний рабочий диаметр опытных трубчатых образцов составляет 39,7мм, а длина рабочей части – 60мм. До начала проведения исследований исходные трубчатые образцы в течение 30 лет после изготовления хранились в лаборатории при указанных выше воздушно-влажностных условиях.

Для определения пределов сопротивляемости разрушению опытных трубчатых образцов при осевом растяжении σ_{zz}^B и внутреннем гидростатическом давлении (растяжение в кольцевом направлении) $\sigma_{\theta\theta}^B$ испытания были осуществлены соответственно при линейной скорости относительного движения зажимов испытательной машины $2\pm 0,4$ мм/мин. и при скорости нарастания в трубах внутреннего гидростатического давления $6\pm 0,3$ атм/мин.

С целью построения диаграмм напряжение-деформация испытания трубчатых образцов производились посредством ступенчатого нагружения. Каждая ступень увеличения нагрузки соответствовала 0,06-0,08 доле соответствующей предельной величины сопротивляемости разрушению трубчатых образцов. В процессе испытаний трубы выдерживались на каждой ступени нагружения лишь на время, необходимое для снятия показаний деформаций с датчиков.

Для вышеуказанного каждого случая испытаний было использовано по 6 трубчатых образцов-близнецов. Максимальное значение коэффициента вариации полученных механических характеристик при этом не превышало 0,11 в случае величин сопротивляемости разрушению и 0,14 – в случае показателей деформации.

2. Обсуждение полученных результатов

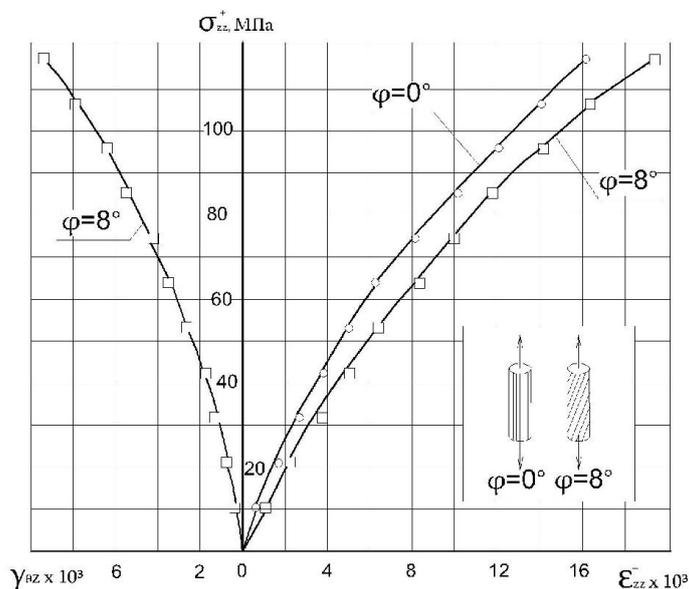
2.1 Осевое растяжение

Прежде чем приступить к рассмотрению полученных экспериментальных данных, отметим, что результаты исследования влияния разориентации армирования на сопротивляемость разрушению и деформационные свойства стандартных плоских образцов и трубчатых элементов из тканевого стеклопластика при осевом растяжении, а также чистом сдвиге подробно обсуждались в работе [8]. Здесь используются отдельные данные из указанной работы с целью сформулирования некоторых обобщающих выводов.

Как показало сравнение данных, полученных в результате испытаний, осуществлённых по описанной в п.1 методике, отклонение угла армирования в пределах 6-8° от нулевого его значения практически не влияет на сопротивляемость разрушению тканевых стеклопластиковых труб при осевом растяжении. Среднее значение указанной характеристики можно принять равным $\sigma_{zz}^B = 142$ МПа.

На фиг. 2.1 представлены диаграммы напряжение-деформация трубчатых образцов, испытанных на осевое растяжение.

Из данных, приведённых на правом поле фиг. 2.1, замечаем, что при осевом ступенчатообразном растяжении стеклопластиковых труб как с углом армирования $\varphi=6-8^\circ$, так и при $\varphi=0^\circ$ связь между напряжениями σ_{zz}^+ и продольными (основными) деформациями ε_{zz}^+ оказывается нелинейной. Это объясняется, в основном, структурной особенностью волокон основы использованной стеклоткани [9].



Фиг. 2.1. Кривые деформирования стеклопластиковых труб с углом армирования φ , подвергнутых осевому растяжению.

Согласно этим же данным, сопротивляемость деформированию в продольном направлении стеклопластиковых труб с $\varphi=6-8^\circ$ оказывается меньшей, чем труб с $\varphi=0^\circ$. При этом, величина отношения продольных деформаций ε_{zz}^+ труб с $\varphi=6-8^\circ$ и $\varphi=0^\circ$, зафиксированных при одном и том же уровне растягивающего напряжения σ_{zz}^+ , практически не зависит от этого уровня и составляет 1,2-1,3.

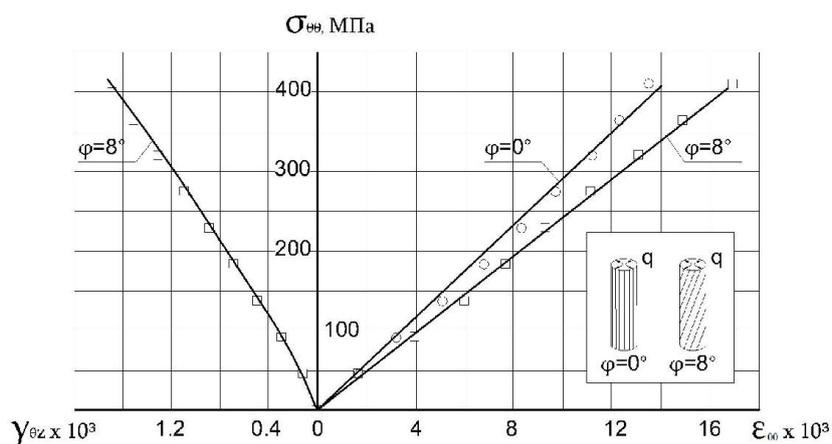
Из данных, представленных на левом поле фиг. 2.1, следует, что в случае осевого растяжения стеклопластиковых труб с углом армирования $\varphi=6-8^\circ$ возникают и существенные сдвиговые деформации $\gamma_{\theta z}$, сопутствующие основным продольным:

при уровне растягивающего напряжения $\sigma_{zz}^+ = 0,6\sigma_{zz}^B$ величина сдвиговых деформаций составляет приблизительно $5,8 \times 10^{-3}$, в то время как величина продольных деформаций этих же труб может достигать до значения $12,6 \times 10^{-3}$. При этом, величина отношения осевых и сдвиговых деформаций разориентированных стеклотканевых труб при одном и том же уровне осевого растягивающего напряжения практически не зависит от уровня напряжения и составляет 2,2-2,3.

Расчёты показывают, что при нагружении аналогичных стеклотканевых труб с $\varphi=6-8^\circ$ растягивающим напряжением $\sigma_{zz}^+ = 0,6\sigma_{zz}^B$, величина угла закручивания на 1м длины составит $13-14^\circ$.

2.2. Внутреннее гидростатическое давление

Результаты испытаний, проведённых согласно описанной в п.1 методике, показали, что влияние отклонения угла армирования в пределах $6-8^\circ$ от нулевого его значения на сопротивляемость разрушению стеклотканевых труб при внутреннем гидростатическом давлении q , как это наблюдалось в рассмотренном выше случае нагружения, оказывается, незначительным. Среднюю величину этой характеристики можно принять равной $\sigma_{\theta\theta}^B = 458,2$ МПа.



Фиг. 2.2. Кривые деформирования стеклопластиковых труб с углом армирования φ , подвергнутых внутреннему гидростатическому давлению

Согласно данным, приведённым на правом поле фиг.2.2, связь между растягивающими напряжениями в кольцевом направлении напряжением $\sigma_{\theta\theta}$ и деформациями в том же направлении $\epsilon_{\theta\theta}$ (основными) как у стеклотканевых труб с $\varphi=0^\circ$, так и у труб с $\varphi=6-8^\circ$, носит прямолинейный характер. Указанное явление обусловлено, в основном, структурной особенностью утковых волокон стеклоткани типа полотняного переплетения с основным перекрытием [9].

Из сравнения указанных выше данных замечаем также, что сопротивляемость деформированию в кольцевом направлении стеклотканевых труб с $\varphi=6-8^\circ$ оказывается значительно меньшей, чем труб с $\varphi=0^\circ$. При этом, величина отношения

деформаций в кольцевом направлении $\varepsilon_{\theta\theta}$ труб с $\varphi=6-8^\circ$ и $\varphi=0^\circ$ практически не зависит от уровня напряжения $\sigma_{\theta\theta}$ и составляет более чем 1.2.

Результаты проведённых испытаний также показали, что при приложении внутреннего гидростатического давления к трубам, с углом армирования $\varphi=6-8^\circ$, возникают и сдвиговые деформации $\gamma_{\theta z}$, сопутствующие основным деформациям в кольцевом направлении $\varepsilon_{\theta\theta}$ (см. левое поле фиг. 2.2). При уровне напряжения $\sigma_{\theta\theta} = 0,6\sigma_{\theta\theta}^B$ величина сдвиговых деформаций составляет более чем $1,1 \times 10^{-3}$. При указанном уровне напряжения $\sigma_{\theta\theta}$ значение деформаций этих же труб в кольцевом направлении составляет приблизительно $11,2 \times 10^{-3}$. При этом, величина отношения деформаций в кольцевом направлении и сдвиговых деформаций стеклотканевых труб с углом армирования $\varphi=6-8^\circ$ при увеличении уровня напряжения $\sigma_{\theta\theta}$ от 45.7 МПа до 411.4 МПа монотонно уменьшается от 12,5 до 9,7.

Согласно проведённым расчётам, при нагружении аналогичных стеклотканевых труб с $\varphi=6-8^\circ$ внутренним гидростатическим давлением, соответствующим $0,6\sigma_{zz}^B$, величина угла закручивания на 1 м длины составит более чем 3° .

Считаем необходимым отметить следующее.

В работе [10] впервые теоретически установлено, что оболочка из ортотропных материалов в случае, если их главные направления упругости не совпадают с геометрическими направлениями оболочки, то под воздействием равномерно распределённого давления или растяжения подвергается кручению относительно оси симметрии.

Можно утверждать, что представленные в п.2 настоящей статьи экспериментальные результаты являются прямым подтверждением закономерностей, установленных в указанной выше теоретической работе [10].

Заключение

Таким образом, изменение сопротивляемости разрушению стеклотканевых труб с основной ткани, направленной вдоль оси, вследствие отклонения угла армирующего наполнителя в пределах $6-8^\circ$ оказывается незначительным как при осевом растяжении, так и при внутреннем гидростатическом давлении.

Одновременно разориентация армирования в указанных переделах приводит к существенному (от 20% до 30%) увеличению податливости деформированию в продольном или в кольцевом направлениях этих же труб, подвергнутых, соответственно, осевому растяжению или внутреннему гидростатическому давлению.

Экспериментально установлено, что при нагружении разориентированных стеклотканевых труб как осевым растяжением, так и внутренним гидростатическим давлением вместе с основными деформациями (продольными в указанном первом случае нагружения и кольцевыми - во втором случае) возникают и сопутствующие сдвиговые деформации. При этом, абсолютное значение сопутствующих деформаций оказывается более существенным в случае приложения к трубам осевого растягивающего усилия.

По всей вероятности, упомянутые выше явления, обусловленные, в основном, технологическим нарушением симметричности армирования трубчатых элементов относительно оси, могут наблюдаться при любой разновидности их намотки, в том числе, и при изготовлении таких элементов посредством перекрёстной намотки.

На основе вышеизложенного можно констатировать, что технологическая разориентация армирования в ходе переработки материала в изделие в процессе эксплуатации может существенным образом повлиять на специфику сопротивляемости деформированию трубчатых композитных элементов, приводя, тем самым, к образованию непредусмотренного внутреннего напряжённого состояния, а в случае пространственных конструкций – и к возможному искажению конфигурации, в целом. Следовательно, задача сведения к минимуму отрицательного влияния возможной разориентации армирования на деформационное поведение композитных трубчатых элементов, и особенно в том случае, если они включены в ответственные пространственные конструкции, является очень важной. К числу рациональных путей достижения решения этой задачи можно отнести и конструктивное её решение. А именно, для таких элементов необходимо предусмотреть симметрично расположенных рёбер жёсткости, ориентированных таким образом, чтобы обеспечивалась максимальная сопротивляемость относительно возникновения сдвиговых деформаций. Технологические особенности изготовления позволяют обеспечить достаточную точность ориентации упомянутых рёбер жёсткости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарнопольский Ю.М., Розе А.В. Особенности расчета деталей из армированных пластиков. Рига: Зинатне, 1969. 276 с. (Tarnopolskii Ju.M., Roze A.V. Calculation features of items from reinforced plastics. Riga: Zinatne, 1969, 276p.) (in Russian)
2. Тарнопольский Ю.М., Кинцис Т.Я. Методы статических испытаний армированных пластиков. М.: Химия, 1981. 272 с. (Tarnopolskii Ju.M., Kincis T.Ja. Methods of the static testing of reinforced plastics. M.: Chimia, 1981. 272p.) (in Russian)
3. Жигун И.Г., Поляков В.А. Свойства пространственно-армированных пластиков. Рига: Зинатне, 1978. 215 с. (Jigun I.G., Poliakov V.A. Properties of the spatially reinforced plastics. Riga: Zinatne, 1978, 215p.) (in Russian)
4. Тарнопольский Ю.М., Розе А.В., Жигун И.Г., Гуняев Г.М. Конструкционные особенности материалов, армированных высокомодульными волокнами. // Мех. Пол. 1971. №4. С. 676-685. (Tarnopolskii Ju.M., Roze A.V., Jigun I.G., Guniaev G.M. Constructional features of materials reinforced by the high-modular fibers. // Mech. Polymers. 1971. №4. P.676-685.) (in Russian)
5. Тарнопольский Ю.М., Розе А.В., Портнов Г.Г. Отрицательные особенности материалов, армированных волокнами. // Мех. Пол. 1969. №1. С.140-149. (Tarnopolskii Ju.M., Roze A.V., Portnov G.G. Negative features of materials reinforced by the fibers. // Mech. Polymers. 1969. №1. P.140-149.) (in Russian)
6. Карапетян К.А. О прочности и деформативных свойствах стеклопластиковых труб при повторно-статических нагружениях в зависимости от отклонений ориентации армирования. // Изв. НАН Армении. Механика. 2001. Т.54. №2. С.70-79. (Karapetyan K.A. About strength and deformable properties of the glass-plastic tubes subjected to repeated-static loading in dependence on the reinforcement orientation deflection. // Proc. NAS RA. Mechanics. 2001. vol. 54. №2. P. 70-79.) (in Russian)
7. Мартиросян М.М. Получение прессованных тонкостенных труб из стеклопластиков. // Промышленность Армении. 1971. №10. С. 56-57. (Martirosyan M.M. Manufacturing of the pressed thin-walled tubes from glass-plastic. // Promishlennost Armenia. 1971. №10. P. 56-57.) (in Russian)

8. Карапетян К.А. Влияние начальной разориентации армирования на механическое поведение слоистых стеклопластиков при статических нагрузениях. // Доклады НАН Армении. 2005. Т.105. №3. С. 249-255. (Karapetyan K.A. Influence of the initial reinforcement disorientation on the mechanical behavior of layered glass-plastics subjected to static loading. // Reports of NAS RA. 2005. Vol. 105. №3. P. 249-255.) (in Russian)
9. Мартынова А.А., Ятченко О.Ф., Васильев А.В. Технология изготовления тканей. М.: Академия, 2007. 304 с. (Martynova A.A., Jatchenko O.F., Vasilev A.V. Technology of fabric manufacture. M.: Academia, 2007. 304p.) (in Russian)
10. Мовсисян Л.А. О некоторых специфических особенностях анизотропных оболочек. // Изв. АН Арм. ССР, физ.-мат. науки. 1958. Т.XI. №4. С.137-144. (Movsisyan L.A. About some specific features of the anisotropic shells. // Proc. AS Arm.SSR, phys.-math. nauki. 1958. vol. XI. №4. P.137-144.) (in Russian)

Сведения об авторах:

Карапетян Корюн Ашотович – д.т.н., зав. лабораторией экспериментальных исследований Института механики НАН Армении, Ереван, Армения,
Тел.: (+374 10) 524852; **E-mail:** koryan@mechins.sci.am

Валесян Сона Шантовна – канд. тех.наук, научный сотрудник Института механики НАН Армении, Ереван, Армения,
E-mail: svalesyan@yahoo.com

Мурадян Нарине Сергеевна – инженер, Институт механики НАН Армении, Ереван, Армения,
Тел.: (+374 10) 527831; **E-mail:** narine-muradyan@mail.ru

Поступила в редакцию 06.03.2018