

УДК 624.044.2+378.046

**ДИСЦИПЛИНА «СОПРОТИВЛЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ» –  
ТРАДИЦИИ И ИННОВАЦИИ**

**Ковалев Олег Сергеевич**

канд. физ.-мат. наук

**Чернобородова Светлана Валентиновна**

канд. физ.-мат. наук

Уральский федеральный университет имени первого Президента России  
Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

*author@apriori-journal.ru*

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы современного обучения студентов по базовой инженерной дисциплине во многих отраслях техники – «Сопротивлению материалов», в том числе с учетом внедрения балльно-рейтинговой системы контроля и оценки знаний студентов. Поставлены вопросы сохранения качества получаемых студентами знаний в связи с переходом на систему обучения бакалавр-магистр. Обосновывается актуальность самообразовательной деятельности студентов.

**Ключевые слова:** самообразование; сопротивление материалов; электронный ресурс, учебно-методический комплекс, балльно-рейтинговая система оценки знаний, самостоятельная работа студентов.

**DISCIPLINE «STRENGTH OF MATERIALS» –  
TRADITION AND INNOVATION**

**Kovalev Oleg Sergeevich**  
candidate of physical and mathematical sciences

**Chernoborodova Svetlana Valentinovna**

candidate of physical and mathematical sciences  
Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,  
Ekaterinburg

**Abstract.** The problems of modern teaching students basic engineering discipline in many branches of engineering strength of materials, including taking into account the implementation of point-rating system for monitoring and evaluation of students' knowledge. Raised questions about maintaining the quality of education received by students in connection with the transition to a system of training Bachelor and Master. The urgency of self-education students.

**Key words:** self-education; strength of materials; electronic resource; training complex; point rating system of knowledge; students' independent work.

Информатизация высшего образования становится одной из ведущих тенденций развития современного общества. Несмотря на это, в высшей школе учебный процесс должен быть нацелен скорее на формирование и развитие интеллектуального потенциала и логического мышления, творческое проектирование и конструирование, чем на зада-

чу простого информационного компьютерного насыщения личности. Для преподавателя главным становится научить студента учиться самостоятельно, развивая все компоненты «само»: самообучение, саморазвитие, самовоспитание, самоанализ. Это и определяет, что основой педагогического процесса становится формирование потребности в самообразовании посредством обучения студентов методам самостоятельной работы в виртуальной образовательной среде при увеличении ее доли в учебно-воспитательном процессе [1], что связано, в том числе, и с уменьшением аудиторных часов на преподаваемые дисциплины (курс «Сопротивление материалов» в их числе), в связи с переходом на многоуровневую систему подготовки (бакалавриат, магистратура, аспирантура, докторантура) [2].

Вследствие вышесказанного можно заметить, что на лекциях по дисциплине «Сопротивление материалов», приходится сокращать излагаемый материал. Так, например, по теме «Определение перемещений посредством интеграла Мора. Формула Верещагина» при выводе формулы потенциальной энергии деформации  $U$  прямого стержня с неизменяемой геометрией поперечного сечения по длине стержня приводится следующее:

удельная потенциальная энергия  $u_{уд}$  деформации равна

$$u_{уд} = \frac{1}{2E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\mu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_1\sigma_3 + \sigma_2\sigma_3)]. \quad (1)$$

где  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – главные напряжения,  $E$  – модуль Юнга,  $\mu$  – коэффициент Пуассона.

Подставляя известные выражения для главных напряжений при центральном растяжении – сжатии, кручении и изгибе, и, интегрируя по всему объему стержня, можно получить, что потенциальная энергия деформации  $U$  равна

$$U = \int_0^l \frac{N^2}{2EA} dx + \eta_z \int_0^l \frac{Q_y^2}{2GA} dx + \eta_y \int_0^l \frac{Q_z^2}{2GA} dx +$$

$$+ \int_0^l \frac{M_{кр}^2}{2GI_p} dx + \int_0^l \frac{M_z^2}{2EI_z} dx + \int_0^l \frac{M_y^2}{2EI_y} dx. \quad (2)$$

Студент, желающий увидеть полный вывод формулы (2), отсылается на электронный ресурс, являющийся частью учебно-методического комплекса, где приводится весь необходимый материал для самостоятельной работы по лекционным и практическим занятиям.

Вывод формулы (2), приведенный в электронном ресурсе, выглядит следующим образом:

удельная потенциальная энергия деформации равна

$$u_{уд} = \frac{1}{2E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\mu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_1\sigma_3 + \sigma_2\sigma_3)]. \quad (3)$$

При центральном растяжении – сжатии возникает линейное (одноосное) напряженное состояние, при котором главные напряжения равны

$$\sigma_1 = +\sigma, \sigma_2 = \sigma_3 = 0, \quad (4)$$

или

$$\sigma_1 = \sigma_2 = 0, \sigma_3 = -\sigma, \quad (5)$$

где  $\sigma = \frac{N}{A}$ .

Удельная потенциальная энергия деформации  $u_{уд}$  при центральном растяжении – сжатии при подстановке равенств (4) или (5) в выражение (3) равна

$$u_{уд} = \frac{\sigma^2}{2E}. \quad (6)$$

Потенциальная энергия деформации  $U$  при центральном растяжении – сжатии в объеме  $V$  стержня длиной  $l$  и площадью поперечного сечения  $A$  определяется выражением

$$U = \int dU = \int u_{\text{уд}} dV = \int_0^l u_{\text{уд}} A dx = \int_0^l \frac{\sigma^2}{2E} A dx = \int_0^l \frac{\left(\frac{N}{A}\right)^2}{2E} A dx = \int_0^l \frac{N^2}{2EA} dx. \quad (7)$$

При кручении возникает плоское (двухосное) напряженное состояние, при котором главные напряжения равны

$$\sigma_1 = \tau = \frac{M_{\text{кр}}}{I_p} \rho, \sigma_2 = 0, \sigma_3 = -\tau = -\frac{M_{\text{кр}}}{I_p} \rho. \quad (8)$$

При подстановке уравнений (8) в выражение (3) получим, что удельная потенциальная энергия деформации  $u_{\text{уд}}$  при кручении равна

$$u_{\text{уд}} = \frac{1}{2E} (\sigma_1^2 + \sigma_3^2 - 2\mu\sigma_1\sigma_3) = \frac{1}{2E} (\tau^2 + \tau^2 + 2\mu\tau^2) = \frac{2\tau^2}{2E} (1 + \mu) = \frac{\tau^2}{2G}, \quad (9)$$

где  $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$  – модуль сдвига.

Потенциальная энергия деформации  $U$  при кручении в объеме  $V$  стержня длиной  $l$  и площадью поперечного сечения  $A$ , определяется выражением

$$\begin{aligned} U &= \int dU = \int u_{\text{уд}} dV = \int_0^l \left( \int_A u_{\text{уд}} dA \right) dx = \int_0^l \left( \int_A \frac{\tau^2}{2G} dA \right) dx = \\ &= \int_0^l \left( \int_A \frac{\left(\frac{M_{\text{кр}}}{I_p} \rho\right)^2}{2G} dA \right) dx = \int_0^l \left( \frac{M_{\text{кр}}^2}{2GI_p^2} \left( \int_A \rho^2 dA \right) \right) dx = \int_0^l \left( \frac{M_{\text{кр}}^2}{2GI_p^2} I_p \right) dx = \int_0^l \frac{M_{\text{кр}}^2}{2GI_p} dx. \end{aligned} \quad (10)$$

При прямом изгибе в каждой точке балки возникает плоское (двухосное) напряженное состояние, где главные напряжения равны

$$\sigma_1 = \frac{\sigma}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}, \sigma_2 = 0, \sigma_3 = \frac{\sigma}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2}, \quad (11)$$

где нормальное напряжение равно

$$\sigma = \frac{M_z}{I_z} y, \quad (12)$$

касательное напряжение равно

$$\tau = \frac{Q_y S_z^{\text{отс}}}{I_z b}. \quad (13)$$

При подстановке уравнений (11) в выражение (3) получим, что удельная потенциальная энергия деформации  $u_{\text{уд}}$  равна

$$u_{\text{уд}} = \frac{1}{2E} [\sigma_1^2 + \sigma_3^2 - 2\mu\sigma_1\sigma_3] = \frac{1}{2E} \left[ \left( \frac{\sigma}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \right)^2 + \left( \frac{\sigma}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \right)^2 - 2\mu \cdot \left( \frac{\sigma}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \right) \cdot \left( \frac{\sigma}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \right) \right]. \quad (14)$$

После упрощений получим

$$u_{\text{уд}} = \frac{\sigma^2}{2E} + \frac{\tau^2}{2} \cdot \frac{2(1+\mu)}{E} = \frac{\sigma^2}{2E} + \frac{\tau^2}{2G}. \quad (15)$$

Потенциальная энергия деформации  $U$  при прямом изгибе в объеме  $V$  определяется выражением

$$U = \int dU = \int u_{\text{уд}} dV = \int_0^l \left( \int_A u_{\text{уд}} dA \right) dx = \int_0^l \left( \int_A \left( \frac{\sigma^2}{2E} + \frac{\tau^2}{2G} \right) dA \right) dx = \int_0^l \frac{1}{2E} \left( \int_A \sigma^2 dA \right) dx + \int_0^l \frac{1}{2G} \left( \int_A \tau^2 dA \right) dx. \quad (16)$$

где

$$\int_A \sigma^2 dA = \int_A \left( \frac{M_z}{I_z} y \right)^2 dA = \left( \frac{M_z}{I_z} \right)^2 \int_A y^2 dA = \left( \frac{M_z}{I_z} \right)^2 \cdot I_z = \frac{M_z^2}{I_z}, \quad (17)$$

и

$$\int_A \tau^2 dA = \int_A \left( \frac{Q_Y S_Z^{\text{отс}}}{I_Z b} \right)^2 dA = \left( \frac{Q_Y}{I_Z} \right)^2 \int_A \left( \frac{S_Z^{\text{отс}}}{b} \right)^2 dA =$$

$$= \frac{Q_Y^2}{A} \cdot \frac{A}{I_Z^2} \int_A \left( \frac{S_Z^{\text{отс}}}{b} \right)^2 dA = \frac{Q_Y^2}{A} \eta_Z.$$
(18)

Был введен безразмерный коэффициент  $\eta_Z$ , зависящий от формы поперечного сечения:

$$\eta_Z = \frac{A}{I_Z^2} \int_A \left( \frac{S_Z^{\text{отс}}}{b} \right)^2 dA.$$
(19)

Подставив уравнения (17-19) в выражение (16) получим, что потенциальная энергия деформации  $U$  при изгибе равна

$$U = \int_0^l \frac{1}{2E} \frac{M_Z^2}{I_Z} dx + \int_0^l \frac{1}{2G} \frac{Q_Y^2}{A} \cdot \eta_Z dx = \int_0^l \frac{M_Z^2}{2EI_Z} dx + \eta_Z \cdot \int_0^l \frac{Q_Y^2}{2GA} dx.$$
(20)

Аналогично вклад от внутренних усилий  $M_Y$  и  $Q_Z$  в потенциальную энергию равен

$$U = \int_0^l \frac{M_Y^2}{2EI_Y} dx + \eta_Y \cdot \int_0^l \frac{Q_Z^2}{2GA} dx.$$
(21)

Учитывая, что потенциальная энергия упругой деформации является аддитивной величиной, суммируя результаты выражений (7, 10, 20, 21), получим искомое уравнение (2).

Из вышеизложенного видно, какие временные и интеллектуальные трудности встречаются перед студентами при самостоятельном изучении предмета даже при обращении к электронным ресурсам учебно-методического комплекса.

Стоит отметить, что в Уральском федеральном университете имени первого Президента России Б.Н. Ельцина (УрФУ) введена балльно-рейтинговая система (БРС), которая ставит целью централизацию учета успеваемости студентов по конкретной дисциплине как в текущем режи-

ме, так и по итоговой аттестации. До начала зачетной недели еженедельно преподаватель заносит результаты оценивания текущей успеваемости в БРС по каждому учащемуся. Допуск к зачету или экзамену определяется автоматически самой системой. В день проведения зачета или экзамена преподаватель также заносит результаты оценивания по итоговой аттестации в БРС, после чего происходит автоматический расчет итогового балла и итоговой оценки. Преподаватель или работник деканата распечатывает итоговую аттестационную ведомость с баллами текущей и завершающей аттестации и с итоговой оценкой по предмету, и система «закрывает» ведомость от изменений [3]. Таким образом, при получении минимального суммарного количества баллов как по текущей, так и по итоговой аттестациям (40 баллов из 100), студент может уже получить положительную оценку своей успеваемости, что по нашему мнению не способствует заинтересованности в более глубоком изучении дисциплины и стремлению к самообразованию, что всегда присутствовало при традиционной сдаче экзамена без предварительно набранных баллов – «бонусов» по текущей аттестации. По опросам студентов только 15 % из них обращаются к электронным ресурсам для изучения дисциплины.

В заключении заметим, что одним из условий успешного самообразования, самосовершенствования личности является прежде всего самостоятельная учебная деятельность. Она должна быть осознана как свободная по выбору, внутренне мотивированная деятельность, предполагающая выполнение студентом целого ряда действий: осознание цели своей деятельности; принятия учебной задачи, придания ей личного смысла [4]; подчинение выполнению этой задачи других интересов и форм занятости студентов, самоорганизации в распределении учебных действий во времени, самоконтроля в их выполнении и некоторых других. Перед преподавателями высшей школы стоит задача при-



влечь слушателей к самостоятельной учебной деятельности – средству формирования познавательных способностей обучающихся, их направленности на непрерывное самообразование.

### **Список использованных источников**

1. Сидоркина Е.В. Организация самостоятельной работы студентов в виртуальной образовательной среде вуза // Педагогическое образование в России. 2013. № 1. С. 53-57.
2. Поляков А.А., Ковалев О.С., Любимцев И.А. Организация обучения по курсу «Сопrotивление материалов» на основе инновационных образовательных технологий // Известия Уральского Федерального университета. Серия 1. Проблемы образования, науки и культуры. 2012. № 3 (104). С. 20-25.
3. Дорошенко В.А., Москаленко М.Р. Дисциплина «Концепции современного естествознания» в системе вузовского образования // Известия Уральского Федерального университета. Серия 1. Проблемы образования, науки и культуры. 2014. № 2 (126). С. 88-94.
4. Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность. М.: Академия, 2005. 352 с.