

3. Гелиоустановка: пат. 3998 Респ. Беларусь, МПК F 24J 2/00 / В.С. Северянин; заявитель Брестск. гос. техн. ун-т – № 20070327 заявл. 02.05.2007, опубл. 01.08.2007.
4. Гелиоконцентратор: пат. 4296 Респ. Беларусь, МПК F 24J 2/00 / В.С. Северянин; заявитель Брестск. гос. техн. ун-т – № 20070576 заявл. 03.08.2007, опубл. 17.12.2007.
5. Особенности расчета оптической системы гелиоустановки «Луч» / В.С. Северянин, П.Ф. Янчилин // Вестник Брестского государствен-

ного технического университета. – 2010. – № 2: Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика. – С. 74–77.

6. Исследование оптических и теплофизических параметров гелиоустановок с целью оптимизации их использования / П.Ф. Янчилин // Справка-отчет №3 о научно-исследовательской работе, договор с БРФФИ № Т12МВ-048. – 2012. – 23 с.

Материал поступил в редакцию 01.04.13

**YANCHILIN P.F. Optical parameters of the concentrator of the solar power plant "ЛУЧ"**

In article the generalized description of properties of the bodies (elements) participating in process of carrying over and distribution of radiant energy at concentration of a sunlight is given. The joint graphic and analytical method of definition of power characteristics of the concentrating systems, based on geometrical constructions which allow to define display to the receiver of a bunch of the solar beams reflected by a mirror is used.

УДК 662.76

**Павленко С.Н.**

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАСПЫЛЕНИЯ ЖИДКОСТИ ПУЛЬСИРУЮЩИМ ГАЗОВЫМ ПОТОКОМ**

**Введение.** В ряде теплотехнических технологий используется процесс распыления жидкости. Распыление приводит к увеличению коэффициента диффузии и поверхности теплообмена (форсунка Шуховадля топлива, распыление инсектицидов) [1]. Известны также интенсификаторы распыления при помощи пульсаций [2]. В работе [3] показано аналитическое исследование поведения капли жидкости в пульсирующем потоке. В реальных установках – парогенераторах (ПГГ) происходят процессы, требующие экспериментальной проверки распыления жидкости в пульсирующем потоке. ПГГ состоит из камеры пульсирующего горения, выдающей пульсирующий газовый поток, действующий на водяную поверхность или струю воды. Знание этой технологии позволит определить основные размеры ПГГ и уточнить происходящие теплофизические процессы.

**Постановка задачи исследования.** Известно, что динамическое действие потока на объем жидкости имеет следующую физико-математическую модель [2]. Жидкая среда в капле удерживается в одном конгломерате силой поверхностного натяжения, которая проявляется на границе раздела двух фаз и обусловлена молекулярным взаимодействием в жидкости. В данной работе анализ распыления струи базируется на действии потока на каплю.

Капля тем устойчивее, чем больше эта сила. Поэтому тем легче она деформируется, чем ее размеры больше и выше температуры жидкости и газа. Внешними силами, деформирующими каплю, являются динамические воздействия газового потока. Если исключить воздействия силы тяжести, электростатические силы и учитывать только влияние динамического воздействия газового потока на каплю, можно говорить об абсолютной устойчивости неподвижной капли в неподвижной газовой среде.

Задача для численного анализа ставится следующим образом [2]. Имеется окружность как аналог сферы, в каждой точке которой, с одной стороны, действует внутреннее давление, равное

$$p_{вн} = 2\sigma/r \tag{1}$$

где  $\sigma$  – сила поверхностного натяжения;  
 $r$  – радиус частицы,

а с другой – динамическое давление потока

$$p_{дин} = 0,5W^2\rho_e \cos \alpha, \tag{2}$$

где  $W$  – скорость

$\rho_e$  – плотность газа

$\alpha$  – угол атаки (между осью потока и радиус-вектором) на окружность частицы.

При деформации капли перемещаются частицы окружности (сферы), при этом объем капли (или площадь двумерного аналога) остается постоянным; кроме того, принимается постоянной и поверхность (периметр).

Тогда уравнение перемещения точек периметра окружности можно записать в такой форме:

$$\ddot{r}(\alpha, \tau) = p_{вн} - p_{дин}, \tag{3}$$

где  $\ddot{r}$  – вторая производная радиуса частицы;  
 $\tau$  – время.

Из этой математической модели видно, что деформация капли усиливается при больших радиусах, росте температур, уменьшении плотности жидкости и увеличении плотности газа, но самое главное – при увеличении скоростного напора.

В стационарном газовом потоке максимальная скорость обдувания частицы равна скорости витания (из условия равенства веса частицы и динамического напора, она характеризуется величиной  $\sqrt{4gr_c/(3\rho_e c)}$ ). Поэтому в газовом потоке с постоянной скоростью обдувание для малых частиц пренебрежимо мало. Следовательно, здесь нельзя ожидать качественного распыления жидкости.

В пульсирующем газовом потоке эффективная скорость обдувания [2]:

$$W_{эф} = W\pi/(\omega\lambda\tau') + W_a\ddot{Z}/\sqrt{2}, \tag{4}$$

где  $\omega$  – циклическая частота пульсаций;

$\lambda$  – коэффициент ослабления начальной скорости;

$\ddot{Z}$  – относительная скорость обдувания:  $\ddot{Z} = (W_e - W_c)/W_a$ ;

$\tau'$  – время действия начальной скорости;

$W_e$  – скорость газа;

$W_c$  – скорость частицы;

$W_a$  – амплитудная скорость

$$\ddot{Z} = \sin x / (1 + B^2) + B \cos x / (1 + B^2) - B \exp(-Bx) / (1 + B^2), \tag{5}$$

$$x = 2\pi\tau/T; B = 45\rho_T Tv / (4\pi r_c r^2).$$

Экспериментально необходимо изучить влияние частоты пульсаций, температуры потока, средней расходной скорости на эффективность распыления. Трудности непосредственно измерения размера и траектории летящих капель заставили использовать другой параметр геометрической характеристики струи, где размер капель

**Павленко Сергей Николаевич**, аспирант кафедры теплогазоснабжения и вентиляции Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

не определялся, но выявлялся объём факела распыления, что прямо характеризует интенсивность распыления жидкости. (Например, величина поперечного сечения на определённой длине). Разные температуры потока позволяют определить влияние её на испарение. Таким образом, аэродинамические и тепловые характеристики газового потока могут служить показателем распыления жидкости. Этот показатель можно использовать при практическом проектировании аппаратов. **Описание экспериментальной установки.** Общий вид установки представлен на рисунке 1(а, б).

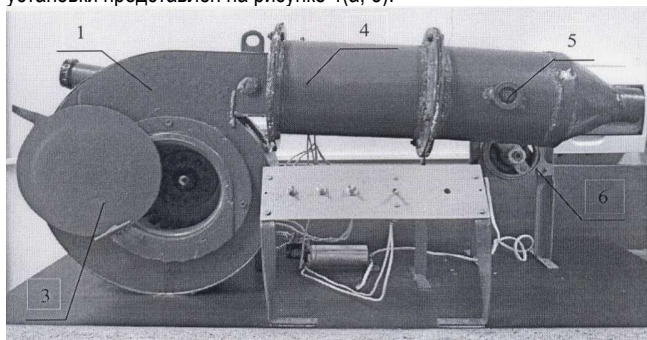


Рис. 1(а). Установка (вид спереди)

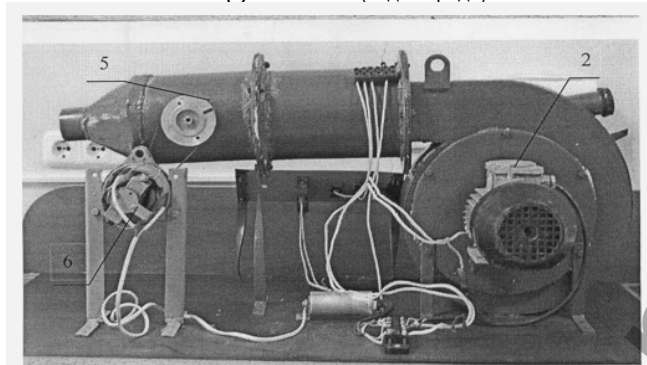


Рис. 1(б). Установка (вид сзади)

Она состоит из следующих основных частей:

- 1) напорного вентилятора (представляет собой центробежное колесо, расположенное в спиральном корпусе (рис. 1а));
- 2) привода напорного вентилятора (представляет собой асинхронный двигатель серии 4А; пуск и останов электродвигателя осуществляется выключателем, который расположен на центральной панели управления (рис. 1б));
- 3) регулятора расхода воздуха (рис. 1а);
- 4) нагревательного элемента (представляет собой три нихромовые спирали намотанные параллельно друг к другу на листовом асбесте; управление подогревателем осуществляется тремя выключателями, расположенными на центральной панели управления (рис. 2));

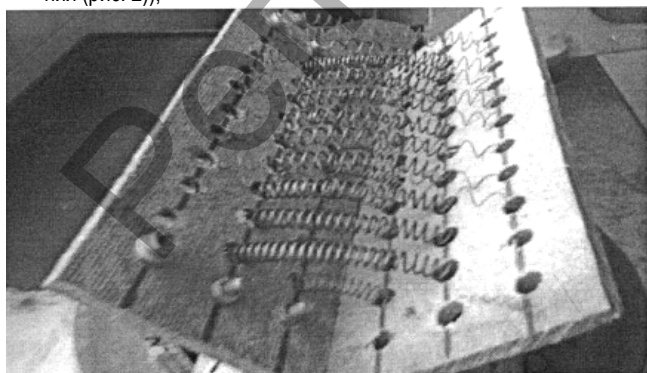
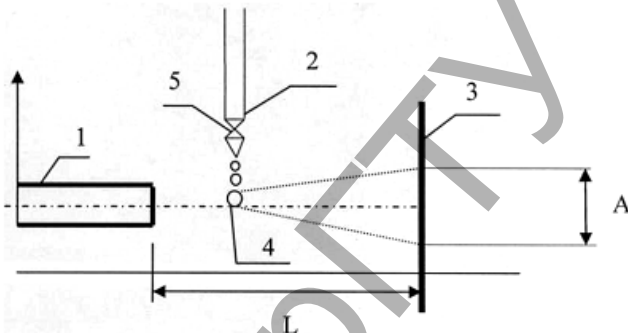


Рис. 2. Нагревательный элемент

- 5) пульсатора воздуха (представляет собой поворотную заслонку, прикреплённую к центральной оси, которая с двух сторон запрессована в подшипники, расположенные внутри трубы (рис 1 а, б));
- 6) привода пульсатора воздуха (представляет собой коллекторный двигатель).

**Методика проведения опытов.** Составлена принципиальная схема проведения эксперимента:



1. Труба (аналог камеры пульсирующего горения).
2. Бюретка.
3. Металлический стержень.
4. Струя воды.
5. Кран.

Рис. 3. Схема проведения эксперимента

Основным измерительным объектом, который применялся в опытах, являлся металлический стержень, покрытый влагопоглощающей поверхностью (папиросная бумага). Непосредственно определить поперечный размер факела, распыленного на влагопоглощающую поверхность, было невозможно, так как нарушался воздушный поток. Поэтому использовался описанный выше стержень. Этим стержнем предварительно (путём его перемещения поперёк потока вертикально и горизонтально) уточнялась форма поперечного сечения распыления. Опыты показали, что при всех потоках воздушного потока и расхода воды на испытуемом расстоянии от среза трубы, что эта форма близка к окружности. Поэтому указанным методом перемещения стержня определялся диаметр распыла (параметр «А»).

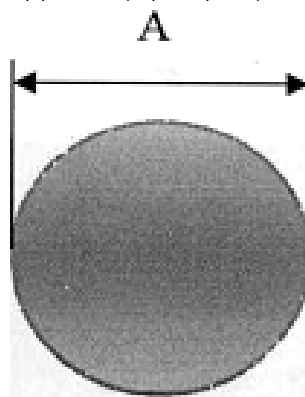


Рис. 4. Параметр А

Параметр «А» является основной функцией описываемых опытов и показывает изменение диаметра распыла жидкости в зависимости от изменения средней скорости, частоты пульсаций и температуры газового потока. Порядок проведения опытов был следующий:

1. Устанавливалось определенное расстояние  $L$  между срезом трубы и бюреткой. В бюретку подавалась вода. Кран закрыт.
2. Включался вентилятор, и устанавливалась определённая скорость воздуха из среза трубы. На расстоянии  $L$  определялась среднерасходная скорость потока анемометром testo.
3. Подавалась напряжение на подогреватели воздуха. Температура определялась термпарой ТСП. Включался пульсатор, вы-



ставлялась определённая частота. Тарировка частоты пульсаций проводилась следующим образом: частота оборотов двигателя равна частоте вращения поворотной заслонки; обороты определялись стробоскопом СШ-2; тарировочная зависимость частоты от напряжения на двигатель дана на рис. 5.

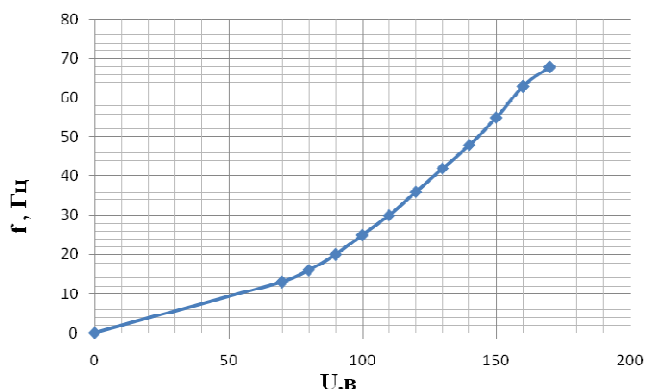


Рис. 5. Зависимость частоты вращения поворотной заслонки пульсатора от напряжения на приводе (электрический двигатель) пульсатора

- Открывался вентиль и задавался выход воды из бюретки в количестве 5 мл.
- Капли воды, сдуваемые потоком воздуха, падали на влагопоглощающую поверхность стержня, тем самым её увлажняли. Затем измерялась увлажнённая часть стержня, то есть определялся параметр «А».

**Результаты экспериментов**



Рис. 6. Факел распыления

На фотографии (рис. 6) показан общий вид факела распыления: подача воды – сверху из бюретки; пульсирующий поток – слева направо; треки капель обусловлены фотоэкспозицией 0,1 секунды.

Графики рисунков 7, 8, 9, 10 представляют экспериментальный материал по влиянию некоторых параметров газового потока (скорости, частоты пульсаций, температуры) на эффект распыления, отражаемый параметром «А».

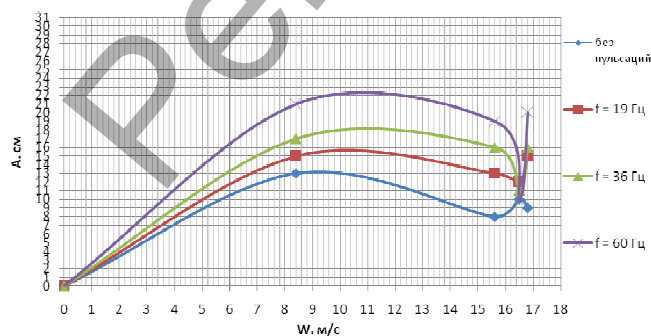


Рис. 7. Влияние среднерасходной скорости воздуха на параметр «А» при разных частотах и температуре воздуха 20°C

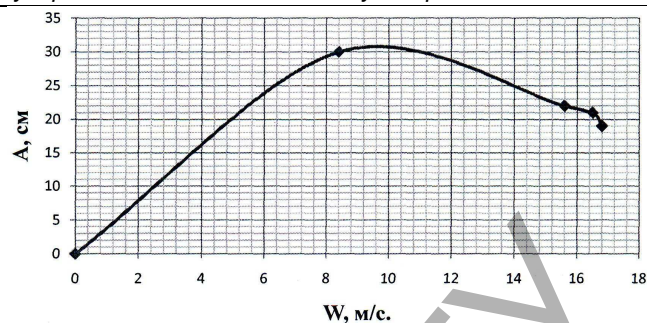


Рис. 8. Влияние среднерасходной скорости воздуха на параметр «А» при температуре воздуха 20°C и частоте пульсаций 68 Гц

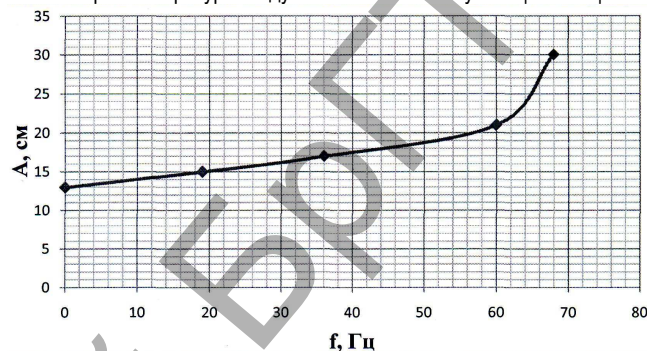


Рис. 9. Влияние частоты пульсаций воздуха на параметр «А» при среднерасходной скорости 8,4 м/сек и температуре воздуха 20°C

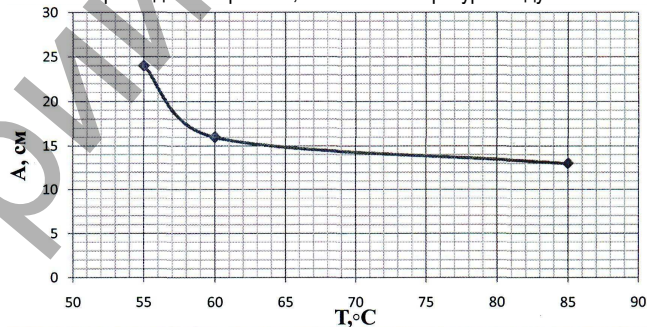


Рис. 10. Влияние температуры воздуха на параметр «А» при среднерасходной скорости 8,4 м/сек и частоте пульсаций 19 Гц

**Обсуждение результатов экспериментов.** Представленные графики говорят о следующем: пульсации скорости, как и ожидалось, увеличивают интенсивность распыления. Типичная частота пульсаций для используемых в промышленности КПП составляют 30–50 Гц, то есть диапазон исследований охватывает практические условия. Исследовали параметры скорости обдувания, частоты и температуры, каждый из которых отдельно влияет на параметр «А». Особенно заметно влияние частоты, что согласуется с предыдущими исследованиями. Объясняет снижение «А» при увеличении W, видимо, свёртывание факела распыления, то есть его сужение при параллельном движении жидкости и газов. Снижение «А» при увеличении температуры можно объяснить, во-первых, снижением динамического напора [2] на капле, во-вторых, испарением капли.

**Заключение.** 1. Эксперимент подтверждает теоретически предсказанную интенсивность распыления жидкости при помощи пульсаций газового потока.

2. В реальных теплоэнергетических установках целесообразно применять высокочастотные источники пульсаций, так как увеличение параметра «А» означает рост поверхности теплообмена.

Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю профессору Виталию Степановичу Северянину за постановку задачи исследования, ценные советы и рекомендации при проектировании и изготовлении экспериментальной установки и анализ полученных данных.

**СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Теплогенерирующие установки / Г.Н. Делягин [и др.]. – Москва: Стройиздат, 2010.
2. Распыление топлива пульсирующим газовым потоком / В.С. Северянин // Известия высших учебных заведений. – 1991. – Энергетика.
3. Испаряющаяся частица в пульсирующем газовом потоке / В.С. Северянин, В.М. Ракецкий, С.Н. Павленко // Вестник Брестского государственного технического университета. – 2011. – № 2: Водохозяйственное строительство и теплоснабжение.

Материал поступил в редакцию 06.03.13

**PAVLENKO S.N. Pilot studies of dispersion of liquid a pulsing gas stream**

The article presents the results of experimental researches of spraying a liquid in a pulsed gas-flow. It is shown that the spray will be better with the imposition of a ripple. The received data can be used in the design of industrial devices.

УДК 678.06

**Дерещук Е.М.**

**ПРИМЕНЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА НАГРЕВА ПОЛИМЕРОВ ПРИ ИХ ВТОРИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКЕ**

**Введение.** В настоящее время в мире производится столько же полимеров, сколько выпускается черных и цветных металлов вместе взятых. В области переработки первичных полимеров можно выделить четыре основных направления [1]:

- приготовление различных композиций с введением в основной полимер различных добавок, способствующих улучшению эксплуатационных и технологических свойств первичных полимеров;
- изготовление изделий из термопластичных материалов, то есть технологический процесс изготовления детали состоит из плавления полимерного материала, механическая деформация его до конфигурации будущего изделия, охлаждение материала до температуры стеклования, при которой изделие может сохранять приданную ему форму;
- изготовление изделий из термореактивных материалов, когда формирование химической структуры материала происходит на последней стадии переработки первичного полимера;
- изготовление изделий из мономеров, полимеризация готового изделия осуществляется непосредственно в форме.

При любом способе производства продукции из полимеров материал должен пройти определенные стадии деформаций. Причем существенное значение имеют как сами процессы деформаций, так и сопутствующие им тепловые и структурные эффекты. То есть большое значение имеют сведения о деформационных и структурных характеристиках расплава полимера, полученных в широком диапазоне температур и скоростей деформации. Эти сведения можно получить экспериментально в процессе реологических исследований расплавов полимеров.

**Особенности плавления пластмасс.** Основываясь на достоверности реологических исследований полимеров, можно построить математическую модель процесса и научно обосновать методы расчета технологических режимов и конструирования нового перерабатывающего оборудования.

Для этого рассмотрим в общем виде основные виды деформаций. Все полимерные материалы в определенном интервале температур способны к пластическому течению к необратимым деформациям. Всякую конечную деформацию можно представить как деформацию объемного сжатия или расширения, характеризующую изменение объема при неизменной форме. Согласно закону Гука, для материалов, находящихся в упругой стадии, относительная продольная деформация определяется по формуле:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E}, \tag{1}$$

относительная поперечная деформация равна:

$$\epsilon^{-1} = -\mu\sigma/E, \tag{2}$$

величина изменения относительного объема равна:

$$\frac{\Delta v}{v} = \frac{(1 - 2\mu)\sigma}{E}, \tag{3}$$

где  $\sigma$  – нормальное напряжение,  $E$  – модуль упругости первого рода (модуль Юнга),  $\mu$  – коэффициент Пуассона (для всех полимерных материалов при температурах выше температуры стеклования или температуры плавления коэффициент Пуассона близок к 0,5). Учитывая это, деформация полимерных тел может быть сведена к изменению формы тела, т.е. к деформации сдвига.

Относительная деформация сдвига, характеризующая изменение формы при неизменном объеме, равна:

$$\gamma = \frac{\tau}{G} \text{ или } \frac{\Delta S}{H} = \frac{F}{GA}, \tag{4}$$

где  $\frac{\Delta S}{H} = \text{tg}\alpha$  – служит деформацией сдвига;

$F/A$  – есть тангенциальное напряжение сдвига;

$G$  – модуль упругости второго рода при сдвиге.

При нагреве большинство полимерных материалов проходят следующие стадии деформаций: упругую  $\gamma_Y$ , высокоэластическую, пластическую  $\gamma_P$ . Основной особенностью полимеров считается, что при их нагреве одновременно развиваются все три вида деформаций. Первые два вида носят обратимый характер, последняя деформация сдвига элементарной призмы расплава является необратимой. Таким образом, для деформации сдвига элементарной призмы, вырезанной из расплава, будет справедливо следующее уравнение:

$$\gamma = \gamma_Y + \gamma_B + \gamma_P. \tag{5}$$

Одновременное развитие всех трёх видов деформаций в условиях установившегося течения приводит к тому, что полимеры обладают свойствами аномально-вязких жидкостей или неньютоновских жидкостей. Скорость развития высокоэластической и пластической деформаций сильно зависит от температуры и градиента скорости сдвига частиц расплава. При достижении определённой температуры и критической скорости сдвига полимер, имея неньютоновские свойства расплава, начинает вести себя как ньютоновская жидкость.

Технологический процесс изготовления продукции из первичных полимеров считается дорогостоящим из-за высокой стоимости исходного материала, употребления большого количества энергии, стоимости дорогого оборудования и т.д. Однако если при производстве первичной продукции утилизировать отходы вторичного сырья в виде добавок, можно уменьшить стоимость изделий примерно на 30–35%.

**Дерещук Евгений Михайлович**, к.т.н., доцент кафедры сопротивления материалов и теоретической механики Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.