

Ермилов А. С.

**СТАБИЛИЗИРОВАННОЕ ТЕЧЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ СУСПЕНЗИЙ С ДИСПЕРСНЫМИ
НАПОЛНИТЕЛЯМИ**

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2009/6/19.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2009. № 6 (25). С. 57-62. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2009/6/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

| | | | | |
|-----------|--------|--------|-----|------|
| -26...-24 | -25,38 | -24,70 | 228 | 1,14 |
| -24...-22 | -23,57 | -23,59 | 11 | 0,98 |

Следует отметить, что СКО по измерениям уровня сигнала совпадает с приведенным выше значением СКО уровня сигнала в конкретной точке измерения (0.94-1.28 дБм). Таким образом, точность измерения уровня сигнала находится в пределах статистического разброса значений измеряемой величины.

Поскольку предельно допустимый уровень электромагнитного поля в диапазоне 900/1800 МГц измеряется в Bm/m^2 , то необходимо осуществить перевод уровня электромагнитного поля из единиц измерения в единицы измерения Bm/cm^2 . Плотность потока энергии Π равна [Марков, 1975, с. 173]

$$\Pi = \frac{10^{0.1P[\text{дБм}]-3}}{S_{\text{эф}}/(1+KCB+1/KCB)}, \text{ дБм} \quad (5)$$

где $S_{\text{эф}} = \lambda^2 G/4\pi$ - эффективная площадь приемной антенны; λ - длина волны наибольшей частоты (1880 МГц) контролируемого диапазона; $G = 0 \text{ дБм}$ - коэффициент усиления используемой двухдиапазонной штыревой антенны ADA-0086; $KCB = 1.5$ - коэффициент стоячей волны антенны ADA-0086 [ADA-0086]. После преобразования выражения (5) с учетом формул (3) получим выражения для вычисления плотности потока энергии для первого и второго детекторов радиосигнала.

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= 10^{U_1 \cdot 4.96 - 3} [\text{мкВт}/\text{см}^2], \\ \Pi_2 &= 10^{-U_2 \cdot 4.05 + 5.3} [\text{мкВт}/\text{см}^2]. \end{aligned} \quad (6)$$

Следует отметить, что с целью уменьшения ошибки измерения за оценку плотности потока энергии будем принимать среднее значение Π_1 и Π_2 .

Таким образом, в работе показано, что оценки уровня сигнала и плотности потока энергии, произведенные с помощью двух различных датчиков, не отличаются между собой в рамках статистической погрешности. Это позволяет отказаться от дорогостоящей процедуры.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 09-07-99002-р_офи.

Список использованной литературы

Григорьев О. А. Электромагнитные поля базовых станций подвижной радиосвязи и экология. Характеристика и оценка электромагнитной обстановки вокруг базовых станций подвижной радиосвязи / О. А. Григорьев, А. В. Меркулов, К. А. Григорьев // Радиационная биология. Радиоэкология. 2005. Т. 45. № 6.

Елягин С. В. Анализ эффективности электромагнитных экранов от излучения антенн стандарта GSM // Радиоэлектронная техника: межвуз. сб. науч. тр. / под ред. В. А. Сергеева. Ульяновск: УлГТУ, 2008.

Ефимов А. В. Сборник задач по математике для вузов: специальные курсы. М.: Наука, 1984. 608 с.

Марков Г. Т. Антенны: учебник для студентов радиотехнических специальностей вузов / Г. Т. Марков, Д. М. Сазонов. М.: Энергия, 1975. Изд. 2-е, перераб. и доп. 528 с.

Патент на полезную модель № 73144. Российская Федерация. МПК7 H04Q9/00. Мобильный измерительный терминал уровня электромагнитного поля / С. В. Елягин, А. И. Армер; заявитель и патентообладатель Ульян. гос. техн. ун-т. Бюл. № 13. 10.05.2008.

AD8314 [Электронный ресурс]. URL: http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/AD8314.pdf

ADA-0086 [Электронный ресурс]. URL: <http://www.adactus.se/products/gsm/ADA-0086>

ZX47-50+ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.minicircuits.com/pdfs/ZX47-50+.pdf>

СТАБИЛИЗИРОВАННОЕ ТЕЧЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ СУСПЕНЗИЙ С ДИСПЕРСНЫМИ НАПОЛНИТЕЛЯМИ

Ермилов А. С.

Пермский государственный технический университет

Рассматривается установившееся течение в цилиндрической трубе высоконаполненной суспензии на основе полимерного связующего. В качестве последнего может использоваться расплав или раствор полимера, течение которого подчиняется закону Освальда де Вилля [Тадмор, 1984]. В формулах расчёта профиля скоростей течения и объёмного расхода потока нами впервые учтено влияние объёмного содержания, а также формы, фракционного состава частиц наполнителя и его физико-химического взаимодействия с полимерным связующим на реологическое поведение полимерной суспензии.

Известно, что реологическому закону Освальда де Вилля подчиняется большинство расплавов или пластифицированных линейных полимеров, включая наполненное состояние:

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \text{ при } \dot{\gamma} = dv_x / dy, \quad (1)$$

где τ - касательное напряжение, $\dot{\gamma}$ - градиент скорости сдвига (v_x) потока, K и n - параметры, зависящие от физико-химических свойств компонентов и состава полимерной суспензии. Здесь также обозначено: y -

нормаль к направлению потока; $y = r$ для цилиндрической системы координат.

Так, например, он широко используется для аппроксимации кривых изотермического течения масс смесевых твёрдых ракетных топлив, которые необходимы при расчётах оптимальных технологических параметров формования твёрдотопливных зарядов ракетных двигателей [Ермилов, 2009].

Основные формулы, ранее описывающие закон распределения скоростей потока, например, по радиусу ($0 < r < R$) трубы и объёмный расход (Q) вязкой жидкости типа полимерной суспензии через её сечение, содержали формальные параметры K и n . Они не отражали в явном виде влияния объёмного содержания, а также формы, фракционного состава частиц наполнителя и его физико-химического взаимодействия с полимерным связующим на указанные характеристики течения композиции. Полимерные композиционные материалы также рассматривались как однородные среды. Это являлось причиной формального подхода и при использовании численных методов исследования течения гетерогенных систем, включая суспензии на основе полимерных связующих, что сдерживало разработку новых композиционных материалов и изделий на их основе.

Ранее нами [Ермилов, 2001, с. 62-64] на экспериментально-теоретической основе была предложена инвариантная зависимость изменения коэффициента динамической вязкости от эффективной (относительной) степени объёмного наполнения (ϕ/ϕ_m), изменяющейся от 0 до 1:

$$\eta_f / \eta_0 = R_f = \left(1 + 1,25 \frac{\phi / \phi_m}{1 - \phi / \phi_m} \right)^2, \quad (2)$$

где R_f - коэффициент усиления, ϕ - объёмная доля твёрдых частиц наполнителя, ϕ_m - предельная степень объёмного наполнения, индексы « f » и « 0 » относятся к наполненному и свободному состоянию полимерного связующего соответственно. Параметр ϕ_m зависит от формы, фракционного состава частиц наполнителя и его физико-химического (иммобилизирующего) взаимодействия с полимерным связующим. Величина ϕ_m может быть определена вискозиметрическим способом [Ермилов, 2001, с. 62-64] или рассчитана комбинаторно-мультипликативным методом [Ермилов, 2004, с. 1218-1220].

Далее нами было показано [Ермилов 2009], что в соответствии с формулой усиления (2) использование полифракционных смесей дисперсного наполнителя позволяет снижать значение коэффициента динамической вязкости на десятичные порядки при неизменной величине объёмной доли твёрдых частиц в полимерном связующем (при этом $\phi_m \rightarrow 1$). На Рисунке 1 показано влияние фракционного состава на величину предельного наполнения трёх фракций: 1 мкм (ϕ_1); 50 мкм (ϕ_2); 250 мкм (ϕ_3).

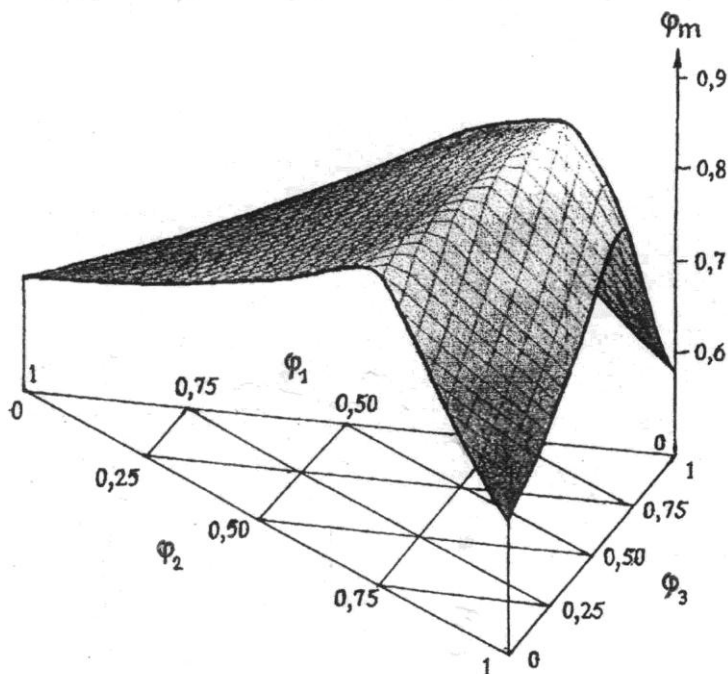


Рис. 1. Зависимость предельной степени объёмного наполнения (ϕ_m) суспензии от соотношения объёмных долей

Применение высокомолекулярной полимерной основы с низкой степенью полярности, например, полиизопреңдивинила, пластифицированного трансформаторным маслом до объёмной доли полимерной основы, равной 0,2, существенно увеличивает значение предельного наполнения ($\phi_m = 0,94$) в сравнении с более полярным низкомолекулярным полиэфируретаном (олигомером), пластифицированным диоктилсебацнатом до объёмной доли полимера, равной 0,5 ($\phi_m = 0,83$). Межмолекулярное взаимодействие иммобилизует течение прослойки полимерного связующего.

Учитывая, что $\eta f = d\tau_f/d\dot{\gamma}_f$, а также выражение (1) можно записать:

$$\tau_f = \int_0^{\dot{\gamma}_f} R_f K_0 n_0 \dot{\gamma}_0^{n_0-1} d\dot{\gamma}_f. \quad (3)$$

В свою очередь градиент скорости сдвига наполненной композиции и градиент скорости внутреннего сдвига композиции (сдвига среднестатистической прослойки полимерного связующего) связаны между собой:

$$\dot{\gamma}_f = \dot{\gamma}_0 (1 - \sqrt[3]{\phi/\phi_m}). \quad (4)$$

На основании этого формула (3) переходит в определённый интеграл:

$$\tau_f = \int_0^{\dot{\gamma}_f} R_f K_0 n_0 (1 - \sqrt[3]{\phi/\phi_m})^{1-n_0} \dot{\gamma}_f^{n_0-1} d\dot{\gamma}_f, \quad (5)$$

отражающий степенной закон для течения полимерной суспензии:

$$\tau_f = K_0 (1 - \sqrt[3]{\phi/\phi_m})^{1-n_0} \left(1 + 1,25 \frac{\phi/\phi_m}{1 - \phi/\phi_m}\right)^2 \dot{\gamma}_f^{n_0}. \quad (6)$$

Параметры K_0 и n_0 относятся к свободному полимерному связующему и обычно определяются надёжно графическим способом в сочетании показаний рео-вискозиметра с линейной формой закона Освальда де Вилля (1):

$$\log \tau_0 = \log K_0 + n_0 \log \dot{\gamma}, \quad (7)$$

поэтому уравнение (6) позволяет прогнозировать закон течения полимерного связующего, наполненного твёрдыми частицами различной формы и фракционного состава, причём физико-химический фактор также может быть учтён подобно [Ермилов, 2001, с. 62-64]. Это обеспечивает существенную экономию материально-исследовательского ресурса при отработке технологии производства новых полимерных композиционных материалов.

Для описания искомого профиля скоростей течения полимерной суспензии и её объёмного расхода при элементарном перепаде гидростатического давления (∂p) на элементарной длине трубы цилиндрического сечения (∂x) воспользуемся уравнением установившегося движения вязкой жидкости в цилиндрической системе координат (принцип Германа-Эйлера-Даламбера) [Тадмор, 1984]:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r \tau_{rx}) = \frac{\partial p}{\partial x}. \quad (8)$$

В результате интегрирования уравнения (8) в пределах $0 < r < R$ получим выражение для касательного напряжения в потоке на стенке трубы:

$$\tau_{rx_w} = \frac{R}{2} \frac{\partial p}{\partial x}, \quad (9)$$

а для произвольной точки потока полимерной суспензии внутри трубы, находящейся на расстоянии r от её оси, значение τ_{rx} :

$$\tau_{rx} = \frac{r}{2} \frac{\partial p}{\partial x}. \quad (10)$$

Подставляя выражение (6) в формулу (10) получим дифференциальное уравнение, описывающее течение наполненной полимерной композиции в цилиндрической трубе:

$$\frac{\partial v_x}{\partial r} = \left[\frac{r}{2R_f K_0 (1 - \sqrt[3]{\phi/\phi_m})^{1-n_0}} \frac{\partial p}{\partial x} \right]^{1/n_0}, \quad \text{где } R_f = \left(1 + 1,25 \frac{\phi/\phi_m}{1 - \phi/\phi_m}\right)^2. \quad (11)$$

Интегрирование уравнения (11) по радиусу трубы в пределах от 0 до R позволяет определить закон, описывающий распределение скоростей потока по сечению:

$$v_x = \int_0^R \left[\frac{r}{2R_f K_0 (1 - \sqrt[3]{\phi/\phi_m})^{1-n_0}} \frac{\partial p}{\partial x} \right]^{1/n_0} dr; \quad (12)$$

$$v_x = \frac{n_0 R}{n_0 - 1} \left[\frac{n_0 R}{2R_f K_0 (1 - \sqrt[3]{\phi/\phi_m})^{1-n_0}} \frac{\partial p}{\partial x} \right]^{1/n_0} \left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^{(n_0+1)/n_0} \right], \quad (13)$$

причём максимальная скорость течения потока полимерной суспензии (при $r = 0$) будет соответствовать выражению:

$$v_{x_{\max}} = \frac{n_0 R}{n_0 + 1} \left[\frac{R}{2R_f K_0 \left(1 - \sqrt[3]{\phi / \phi_m}\right)^{1-n_0}} \frac{\partial p}{\partial x} \right]^{1/n_0}, \quad (14)$$

где $\partial p \sim \Delta P = (P_2 - P_1)$ означает перепад давления на интересующем нас участке трубы $\partial x \sim \Delta L = (L_2 - L_1)$.

Эпюра скоростей течения потока представляет собой параболу, кривизна которой определяется величиной n_0 .

Объёмный расход полимерной суспензии, протекающей через круглое сечение трубы, можно определить с помощью интеграла:

$$Q = 2\pi \int_0^R r v_x dr = 2\pi \int_0^R r v_{x_{\max}} \left[1 - \left(\frac{r}{R}\right)^{(n_0+1)/n_0} \right] dr = \left(\frac{n_0+1}{3n_0+1}\right) \pi R^2 v_{x_{\max}}. \quad (15)$$

Таким образом, из выражений (14) и (15) следует, что объёмный расход (Q) наполненного полимерного связующего как неньютоновской жидкости прямо пропорционален перепаду давления на участке трубы ($\partial p / \partial x$) в степени $1/n_0$ и радиусу трубы в степени $(3n_0 + 1)/n_0$. На Рисунке 2 представлена зависимость условного объёмного расхода от эффективной степени объёмного наполнения суспензии.

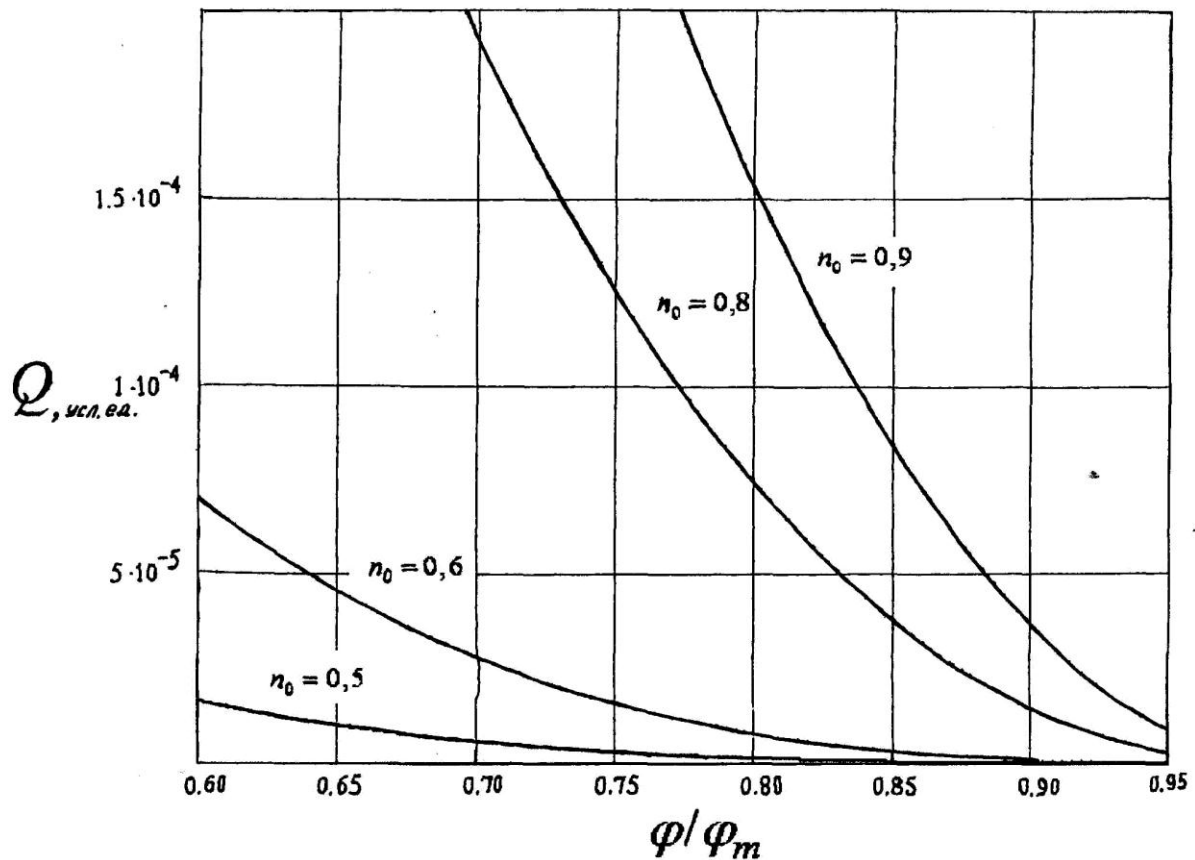


Рис. 2. Зависимость величины Q от ϕ / ϕ_m при различных значениях n_0

В Таблице приведена сводка основных формул, рекомендуемых для инженерных расчётов при описании течений разрабатываемых полимерных композиционных материалов, содержащих дисперсный наполнитель.

Таблица. Основные формулы для расчёта течений полимерных суспензий

| Величина | Формула для степенного закона Освальда де Виля |
|---|---|
| Скорость потока в центре трубы | $v_{x_{\max}} = \left(\frac{n_0 R}{n_0 + 1} \right) \left[\frac{n_0 R \left(1 + 1,25 \frac{\phi / \phi_m}{1 - \phi / \phi_m} \right)^{-2}}{2K_0 \left(1 - \sqrt[3]{\phi / \phi_m} \right)^{1-n_0}} \frac{\partial p}{\partial x} \right]^{1/n_0}$ |
| Скорость потока в произвольной точке сечения трубы | $v_x = v_{x_{\max}} \left[1 - \left(\frac{r}{R} \right)^{(n_0+1)/n_0} \right]$ |
| Средняя скорость потока в трубе | $v_{x_{\text{mid}}} = v_{x_{\max}} \left(\frac{n_0 + 1}{3n_0 + 1} \right)$ |
| Объёмный расход полимерной суспензии в трубе | $Q = \frac{\pi R^3 n_0}{3n_0 + 1} \left[\frac{R \left(1 + 1,25 \frac{\phi / \phi_m}{1 - \phi / \phi_m} \right)^{-2}}{2K_0 \left(1 - \sqrt[3]{\phi / \phi_m} \right)^{1-n_0}} \frac{\partial p}{\partial x} \right]^{1/n_0} = v_{x_{\text{mid}}} \pi R^2$ |
| Градиент скорости сдвига в произвольной точке сечения трубы | $\dot{\gamma}_f = \frac{dv_x}{dr} = \left(\frac{v_{x_{\max}}}{R} \right) \left(\frac{n_0 + 1}{n_0} \right) \left(\frac{r}{R} \right)^{1/n_0}$ |

Другие параметры течения полимерной суспензии - напряжение сдвига у стенки трубы, напряжение сдвига в произвольной точке сечения трубы - рассчитываются по известным формулам [Тадмор, 1984].

В случае расчёта характеристик течения полимерных суспензий в каналах с различными поперечными сечениями можно использовать соответствующие коэффициенты формы канала a и b , предложенные Козицким В. [Тадмор, 1984]. Им были определены численные значения этих параметров для каналов круглого, кольцевого, прямоугольного, эллиптического и треугольного сечений. При этом использовано понятие гидравлического радиуса, равного отношению площади поперечного сечения к периметру канала. Однако современный подход к решению подобных задач заключается в использовании метода конечных элементов, представляющего собой разновидность способов приближённого численного интегрирования дифференциальных уравнений движения сплошной среды. Метод отличается геометрической наглядностью полей скоростей течения потоков в узлах сложной геометрической формы.

Для инженеров же, занимающихся созданием новых композиций, требуется знание взаимосвязи реологических характеристик состава и его физико-химической структуры.

Наконец, в случае необходимости учёта температуры материала рекомендуется использовать уравнение Вильямса-Ланделя-Ферри, справедливое для большинства полимерных связующих:

$$\log a_T = \log \frac{\eta_T}{\eta_{T_g}} = \frac{-17,44(T - T_g)}{51,60 + (T - T_g)}, \quad (16)$$

где a_T - коэффициент температурного смещения, T_g - температура структурного стеклования. Аналогично формуле (16) можно полагать, что:

$$\log \frac{\tau_{f_T}(\dot{\gamma}_f)}{\tau_{f_{T_g}}(\dot{\gamma}_f)} \approx \log \frac{\eta_T}{\eta_{T_g}} = \log a_T. \quad (17)$$

Последнее означает соответствующее смещение на температурной шкале измерения или вычисления кривых, описываемых законом Освальда де Виля. Знак « \approx » предполагает, что эффект иммобилизации движения молекул связующего на поверхности частиц наполнителя пренебрежимо мал.

Список использованной литературы

1. **Ермилов А. С.** Теоретические основы процессов получения и переработки полимерных материалов: курс лекций. Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2009. 159 с.
2. **Ермилов А. С., Зырянов К. А.** Концентрационная зависимость усиления каучуков дисперсными наполнителями // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2001. Т. 67. № 9.
3. **Ермилов А. С., Федосеев А. М.** Комбинаторно-мультипликативный метод расчёта предельного наполнения композиционных материалов твёрдыми дисперсными компонентами // Журнал прикладной химии. 2004. Т. 77. Вып. 7.
4. **Тадмор З.** Теоретические основы переработки полимеров. М.: Химия, 1984. 628 с.

О ПРЕПОДАВАНИИ КУРСА «КОНСТРУКТИВНАЯ ГЕОМЕТРИЯ» В ПЕДАГОГИЧЕСКОМ ИНСТИТУТЕ

*Игнатьева Н. К.**Лесосибирский педагогический институт - филиал ФГОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»*

В школьном курсе математики особое внимание уделяется решению задач на построение. Целесообразность этой деятельности обусловлена тем, что задачи на построение развивают конструктивное, логическое, вариативное мышление; прививают навыки исследования; способствуют пониманию учащимися происхождения различных геометрических фигур, возможности их преобразования. Однако, не смотря на важность этой темы, в базовом курсе геометрии практически не выделено времени для достаточно глубокого изучения теории и решения содержательных задач на геометрические построения. Поэтому геометрические построения выносятся на рассмотрение на различных дополнительных занятиях.

Курс конструктивной геометрии в педагогическом институте должен вооружить будущего учителя конкретными знаниями, умениями и навыками решения задач на построение, дающими возможность преподавать этот раздел геометрии в общеобразовательной школе и квалифицированно вести факультативные занятия и элективные курсы. Основой проведения занятий служит деятельностный подход, который обеспечивает системное включение студента в процесс самостоятельного построения им нового знания и позволяет проводить разноуровневое обучение.

Особенностью курса конструктивной геометрии является сравнительно небольшой объем теоретического материала - этот раздел геометрии носит ярко выраженный практический характер, поэтому на лекции отведено небольшое количество часов. Основным содержанием лекционного курса является ознакомление с основными методами решения конструктивных задач. Количество лекций также сокращено за счет того, что вопросы теории, с которыми студенты могут разобраться самостоятельно, вынесены на семинарские занятия. Целью лекций является формирование ориентировочной основы для последующего усвоения студентами учебно-познавательной деятельности.

В последнее время в связи с ориентацией на «активные» формы обучения, лекции часто подвергаются критике. Считается, что основным видом деятельности студентов во время лекции является записывание, поэтому лекции неэффективны и должны быть заменены самостоятельной работой студентов с учебниками. В высказанном мнении есть доля истины, однако совсем отказаться от лекционных занятий невозможно по ряду причин. Отметим некоторые из них:

- недостаточное обеспечение курса учебниками, особенно современными;
- изучая геометрию по учебникам, нельзя проследить динамику возникновения способа решения (анализа) задачи;
- предлагаемые в учебниках чертежи скрывают природу его возникновения, особенно готовый чертеж играет отрицательную роль на этапе анализа, в котором требуется выполнить некоторые дополнительные построения и на этапе исследования при графическом установлении (при помощи изменения параметра) всех характерных случаев взаимного расположения фигур;
- на лекциях даются примеры решения типовых задач, образцы их оформления, которых в полном объеме нет в учебниках и которые необходимы в качестве эталонов для самообучения и самоконтроля;
- важность личностного эмоционального воздействия преподавателя на студентов.

Проводимые лекции по конструктивной геометрии нельзя отнести к «пассивным», т.к. на них происходит стимулирование мыслительной деятельности студентов путем приглашения их к диалогу. Студенты выступают не свидетелями, а соучастниками поиска способа решения задач. При этом они прекрасно видят, как преподаватель реагирует на возникающие непредвиденные ситуации, мыслит прямо на глазах студентов, а не приводит заранее выученные анализы задач. Здесь важно сразу не отвергать ни одной идеи студента (даже если преподаватель видит, что она не приводит к решению), дать студентам возможность в процессе общих обсуждений сделать этот вывод. Если же идея ведет к решению (даже не к самому рациональному) - помочь довести решение задачи до логического завершения (хотя бы на уровне анализа) и вернуться к более рациональному способу решения. Такой подход к проведению лекций, построенный на сотрудничестве преподавателя и студентов, позволяет повысить мотивацию к учению, активизировать мыслительную деятельность и развивать творческую самостоятельность студентов.

Заметим, что хотя лекции и важны, потому что на них устанавливаются связи между понятиями, выявляются закономерности, даются образцы научных методов и т.д., однако исследователями педагогики высшей школы установлено, что на лекциях могут реализоваться знания только первого уровня усвоения (по