6. Овчинникова Е.Н. Информационные технологии в исследовательской деятельности студентов технического вуза. Ученые записки ИСГЗ, 2017. т. 15. №2.
7. Быкова О.Г. О преподавании методов вычислений студентам нефтегазового факультета горного университета / О.Г. Быкова, Д.Н. Арбузов // Актуальные вопросы современной информатики: материалы XI Всероссийской научно-практической конференции, Коломна: ГСГУ, 2021. С. 113-115.
8. Маховиков А.Б. Исследование удовлетворенностью обучением информатики студентами первого курса / А.Б. Маховиков, Н.А. Вахнин, В.В. Шарок // Современные образовательные технологии в подготовке специалистов для минерально-сырьевого комплекса. Сборник научных трудов III Всероссийской научной конференции 5-6 марта 2020, СПБ, 2020.
9. Быкова О.Г. Научно-исследовательская работа студентов на факультете фундаментальных и гуманитарных дисциплин горного университета / О.Г. Быкова, Т.Р. Косовцева // Инновационные технологии в медиаобразовании. Сборник научных статей по материалам всероссийской научно-практической конференции 4-5 марта 2013 г., СПб, 2013. С.131-136.
10. Пирумов У.Г. Численные методы: теория и практика: учебное пособие для бакалавров / У.Г. Пирумов и др. - 5-е изд., перераб. и доп.- М.: Издательство Юрайт, 2012.

НЕСОВЕРШЕННЫЕ АЛГЕБРЫ ГОЛОНОМИИ АФФИННЫХ СВЯЗНОСТЕЙ НА ОДНОРОДНЫХ ПРОСТРАНСТВАХ

Можей Наталья Павловна, mozheynatalya@mail.ru

Говорят, что многообразие обладает совершенной группой голономии, если вся алгебра голономии порождается только операторами кривизны, в противном случае будем называть алгебру голономии несовершенной. Исследования структуры кривизны многообразий с совершенной группой голономии проводились, например, в [1] и других работах автора. С описанием связностей на трехмерных однородных пространствах можно ознакомиться в работе [2], целью же данной статьи является изучение, при каких условиях алгебра голономии не является совершенной.

Пусть M – дифференцируемое многообразие, на котором транзитивно действует группа $\bar{G}$, $G = \bar{G}_x$ – стабилизатор произвольной точки $x \in M$. Пусть $\bar{\mathfrak{g}}$ – алгебра Ли группы Ли $\bar{G}$, а $\mathfrak{g}$ – подалгебра, соответствующая подгруппе G. Там, где это не будет вызывать разночтения, будем отождествлять подпространство, дополнительное к $\mathfrak{g}$ в $\bar{\mathfrak{g}}$, и факторпространство $\mathfrak{m} = \bar{\mathfrak{g}}/\mathfrak{g}$. Аффинной связностью на паре $(\bar{\mathfrak{g}}, \mathfrak{g})$ называется такое отображение $\Lambda : \bar{\mathfrak{g}} \to \mathfrak{gl}(\mathfrak{m})$, что его ограничение на $\mathfrak{g}$ есть изотропное представление подалгебры, а все отображение является $\mathfrak{g}$-инвариантным. Тензор кручения $T \in InvT_2^{\ 1}(\mathfrak{m})$ и тензор кривизны $R \in InvT_3^{\ 1}(\mathfrak{m})$ для всех $x, y \in \bar{\mathfrak{g}}$ имеют вид

$$T(x_{\mathfrak{m}}, y_{\mathfrak{m}}) = \Lambda(x)y_{\mathfrak{m}} - \Lambda(y)x_{\mathfrak{m}} - [x, y]_{\mathfrak{m}};$$
$$R(x_{\mathfrak{m}}, y_{\mathfrak{m}}) = [\Lambda(x), \Lambda(y)] - \Lambda([x, y]).$$

Одной из важнейших характеристик связности является группа голономии. Переформулируем теорему Вана [3] об алгебре голономии: алгебра Ли $\mathfrak{h}^*$ группы голономии инвариантной связности $\Lambda : \bar{\mathfrak{g}} \to \mathfrak{gl}(3, \mathrm{R})$ на паре $(\bar{\mathfrak{g}}, \mathfrak{g})$ – это подалгебра алгебры $\mathfrak{gl}(3, \mathrm{R})$ вида $V + [\Lambda(\bar{\mathfrak{g}}), V] + [\Lambda(\bar{\mathfrak{g}}), [\Lambda(\bar{\mathfrak{g}}), V]] + \ldots$, где V – подпространство, порожденное множест-вом $\{[\Lambda(x), \Lambda(y)] - \Lambda([x, y]) \mid x, y \in \bar{\mathfrak{g}}\}$. Обозначим через $\mathfrak{a}_{\bar{\mathfrak{g}}}$ подалгебру в $\mathfrak{gl}(3, \mathrm{R})$, порожденную $\{\Lambda(x); x \in \bar{\mathfrak{g}}\}$.

Многообразие обладает совершенной группой голономии, если алгебра голономии порождается лишь операторами кривизны. В противном случае будем называть группу голономии несовершенной.

Будем описывать пару $(\bar{\mathfrak{g}}, \mathfrak{g})$ при помощи таблицы умножения алгебры Ли $\bar{\mathfrak{g}}$ с базисом $\{e_1, ..., e_n\}$ $(n = \dim \bar{\mathfrak{g}})$, причем $\{e_1, ..., e_{n-3}\}$ – базис $\mathfrak{g}$, а $\{u_1 = e_{n-2}, u_2 = e_{n-1}, u_3 = e_n\}$ – базис $\mathfrak{m}$. Для нумерации подалгебр используем запись *d.n*, а для нумерации пар – запись *d.n.m*, здесь d – размерность подалгебры, n – номер подалгебры в $\mathfrak{gl}(3, \mathrm{R})$, а m – номер пары $(\bar{\mathfrak{g}}, \mathfrak{g})$. Будем выписывать аффинную связность через $\Lambda(u_1)$, $\Lambda(u_2)$, $\Lambda(u_3)$, тензор кривизны R – через $R(u_1, u_2)$, $R(u_1, u_3)$, $R(u_2, u_3)$, а тензор кручения T через $T(u_1, u_2)$, $T(u_1, u_3)$, $T(u_2, u_3)$.

Для получения искомого результата найдем все трехмерные изотропно-точные пары с полупростой $\bar{\mathfrak{g}}$ и неразрешимой $\mathfrak{g}$ (с подробным описанием можно ознакомиться в [2]) и определим пары, допускающие несовершенную алгебру голономии.

Теорема. Трехмерное однородное пространство, допускающее нетривиальную аффинную связность (кривизна и кручение которой не только нулевые) с несовершенной алгеброй голономии, такое, что $\bar{\mathfrak{g}}$ является полупростой, а $\mathfrak{g}$ не является разрешимой, имеет следующий вид:

5.3.2.	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	u_1	u_2	u_3
e_1	0	0	e_2	0	e_1	$-3e_1$	$-(1/2)e_5+$	$-e_4$

							$+(1/2)u_1$	
e_2	0	0	0	e_1	$-e_2$	$-3e_2$	$-e_3$	$(1/2)e_5+(1/2)u_1$
e_3	$-e_2$	0	0	e_5	$-2e_3$	0	0	u_2
e_4	0	$-e_1$	$-e_5$	0	$2e_4$	0	u_3	0
e_5	$-e_1$	e_2	$2e_3$	$-2e_4$	0	0	u_2	$-u_3$
u_1	$3e_1$	$3e_2$	0	0	0	0	$-3u_2$	$-3u_3$
u_2	$(1/2)e_5-$ $-(1/2)u_1$	e_3	0	$-u_3$	$-u_2$	$3u_2$	0	0
u_3	e_4	$-(1/2)e_5-(1/2)u_1$	$-u_2$	0	u_3	$3u_3$	0	0

Действительно, в [2] доказано, что любое трехмерное однородное пространство $(\bar{g}, g)$, допускающее нетривиальную аффинную связность (кривизна и кручение которой не только нулевые), такое, что $\bar{g}$ является полупростой, а g не является разрешимой, локально эквивалентно одному и только одному из следующих пространств:

3.4.2	e_1	e_2	e_3	u_1	u_2	u_3
e_1	0	e_2	$-e_3$	u_1	0	$-u_3$
e_2	$-e_2$	0	e_1	0	u_1	u_2
e_3	e_3	$-e_1$	0	u_2	u_3	0
u_1	$-u_1$	0	$-u_2$	0	e_2	$-e_1$
u_2	0	$-u_1$	$-u_3$	$-e_2$	0	$-e_3$
u_3	u_3	$-u_2$	0	e_1	e_3	0

,

3.4.3	e_1	e_2	e_3	u_1	u_2	u_3
e_1	0	e_2	$-e_3$	u_1	0	$-u_3$
e_2	$-e_2$	0	e_1	0	u_1	u_2
e_3	e_3	$-e_1$	0	u_2	u_3	0
u_1	$-u_1$	0	$-u_2$	0	$-e_2$	e_1
u_2	0	$-u_1$	$-u_3$	e_2	0	e_3
u_3	u_3	$-u_2$	0	$-e_1$	$-e_3$	0

,

3.5.2	e_1	e_2	e_3	u_1	u_2	u_3
e_1	0	e_3	$-e_2$	$-u_3$	0	u_1
e_2	$-e_3$	0	e_1	$-u_2$	u_1	0
e_3	e_2	$-e_1$	0	0	$-u_3$	u_2
u_1	u_3	u_2	0	0	e_2	e_1
u_2	0	$-u_1$	u_3	$-e_2$	0	e_3
u_3	$-u_1$	0	$-u_2$	$-e_1$	$-e_3$	0

,

3.5.3	e_1	e_2	e_3	u_1	u_2	u_3
e_1	0	e_3	$-e_2$	$-u_3$	0	u_1
e_2	$-e_3$	0	e_1	$-u_2$	u_1	0
e_3	e_2	$-e_1$	0	0	$-u_3$	u_2
u_1	u_3	u_2	0	0	$-e_2$	$-e_1$
u_2	0	$-u_1$	u_3	e_2	0	$-e_3$
u_3	$-u_1$	0	$-u_2$	e_1	e_3	0

либо 5.3.2.

Пусть, например, g имеет вид 5.3, т.е.

$$\begin{array}{|ccc|}\hline 0 & x & y \\ 0 & u & z \\ 0 & t & -u \\ \hline \end{array}.$$

Переменные обозначены латинскими буквами и принадлежат P. Базис подалгебры выберем, придав одной из латинских переменных значение 1, а остальным 0, нумерация базисных векторов соответствует алфавиту. Нильпотентная подалгебра $\mathfrak{h}$ порождена вектором e_5. Имеем $\mathfrak{g}^{(-1)}(\mathfrak{h}) = \mathrm{R}e_1$, $\mathfrak{g}^{(1)}(\mathfrak{h}) = \mathrm{R}e_2$, $\mathfrak{g}^{(2)}(\mathfrak{h}) = \mathrm{R}e_3$, $\mathfrak{g}^{(-2)}(\mathfrak{h}) = \mathrm{R}e_4$, $\mathfrak{g}^{(0)}(\mathfrak{h}) = \mathrm{R}e_5$, $U^{(0)}(\mathfrak{h}) = \mathrm{R}u_1$, $U^{(1)}(\mathfrak{h}) = \mathrm{R}u_2$, $U^{(-1)}(\mathfrak{h}) = \mathrm{R}u_3$. Тогда $[u_1, u_2] = a_2 e_2 + \alpha_2 u_2$, $[u_1, u_3] = b_1 e_1 + \beta_3 u_3$, $[u_2, u_3] = c_5 e_5 + \gamma_1 u_1$. Пусть $[e_1, u_3] = p e_4$, в силу тождества Якоби $a_2 = -3p\gamma_1/2$, $\alpha_2 = 0$, $b_1 = 3p\gamma_1/2$, $\beta_3 = 3p$, $c_5 = 3p\gamma_1/2$. При $p = 0$ алгебра не является простой, при $p \neq 0$ пара $(\bar{\mathfrak{g}}, \mathfrak{g})$ эквивалентна паре 5.3.2 посредством $\pi : \bar{\mathfrak{g}}_2 \to \bar{\mathfrak{g}}$, $\pi(e_1) = (1/3)e_1$, $\pi(u_1) = -(p/2)u_1 - (3p/2)e_5$, $\pi(e_2) = (1/3)e_2$, $\pi(u_2) = 3pu_2 + (1/3)e_2$, $\pi(e_3) = e_3$, $\pi(u_3) = 3pu_3 - (p/6)e_1$, $\pi(e_4) = e_4$, $\pi(e_5) = e_5$. Найдем инвариантные аффинные связности на этой паре. Пусть здесь и далее

$$\Lambda(u_1) = \begin{pmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & p_{1,3} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & p_{2,3} \\ p_{3,1} & p_{3,2} & p_{3,3} \end{pmatrix}, \Lambda(u_2) = \begin{pmatrix} q_{1,1} & q_{1,2} & q_{1,3} \\ q_{2,1} & q_{2,2} & q_{2,3} \\ q_{3,1} & q_{3,2} & q_{3,3} \end{pmatrix}, \Lambda(u_3) = \begin{pmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & r_{1,3} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & r_{2,3} \\ r_{3,1} & r_{3,2} & r_{3,3} \end{pmatrix}$$

для некоторых $p_{i,j}$, $q_{i,j}$, $r_{i,j} \in \mathrm{R}$ (при $i, j = \overline{1,3}$). Так как $[\Lambda(e_1), \Lambda(u_1)] = \Lambda([e_1, u_1]) \Rightarrow [\Lambda(e_1), \Lambda(u_1)] = -3\Lambda(e_1)$, имеем $p_{2,2} = p_{1,1} - 3$, $p_{2,3} = p_{2,1} = p_{3,1} = 0$. Поскольку $[\Lambda(e_2), \Lambda(u_1)] = \Lambda([e_2, u_1]) \Rightarrow [\Lambda(e_2), \Lambda(u_1)] = -3\Lambda(e_2)$, $p_{3,3} = p_{1,1} - 3$, $p_{3,2} = 0$. Так как $[\Lambda(e_3), \Lambda(u_1)] = 0$, то $p_{1,2} = 0$. Если $[\Lambda(e_4), \Lambda(u_1)] = 0$, то $p_{1,3} = 0$. Поскольку $[\Lambda(e_2), \Lambda(u_2)] = -\Lambda(e_3)$, $q_{3,1} = q_{3,2} = 0$, $q_{3,3} = q_{1,1}$, $q_{2,1} = 2$. Так как $[\Lambda(e_1), \Lambda(u_2)] = (1/2)\Lambda(u_1) - (1/2)\Lambda(e_5)$, $q_{1,1} = 2$, $q_{2,2} = q_{1,1}$, $q_{2,3} = 0$. Если $[\Lambda(e_3), \Lambda(u_2)] = 0$, то $q_{1,2} = 0$. Поскольку $[\Lambda(e_4), \Lambda(u_2)] = \Lambda(u_3)$, $r_{1,1} = 0$, $r_{1,2} = q_{1,3}$, $r_{1,3} = r_{2,1} = r_{2,2} = r_{2,3} = 0$, $r_{3,1} = 2$, $r_{3,2} = r_{3,3} = 0$. Так как $[\Lambda(e_5), \Lambda(u_2)] = \Lambda(u_2)$, $p_{1,1} = 0$. Получим, что аффинная связность имеет вид

$$\Lambda(u_1) = \begin{pmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{pmatrix}, \Lambda(u_2) = \begin{pmatrix} 0 & 0 & -r_{1,2} \\ 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \Lambda(u_3) = \begin{pmatrix} 0 & r_{1,2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 2 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

для любого $r_{12} \in \mathbb{R}$ (для остальных базисных векторов условия выполняются). Тензор кривизны –

$$R(u_1,u_2)=[\Lambda(u_1),\Lambda(u_2)]-\Lambda([u_1,u_2])=\begin{pmatrix}0&0&-6r_{1,2}\\0&0&0\\0&0&0\end{pmatrix},$$

$$R(u_1,u_3)=[\Lambda(u_1),\Lambda(u_3)]-\Lambda([u_1,u_3])=\begin{pmatrix}0&6r_{1,2}&0\\0&0&0\\0&0&0\end{pmatrix},$$

$$R(u_2,u_3)=[\Lambda(u_2),\Lambda(u_3)]-\Lambda([u_2,u_3])=\begin{pmatrix}-4r_{1,2}&0&0\\0&2r_{1,2}&0\\0&0&2r_{1,2}\end{pmatrix}.$$

Тензор кручения – $T(u_1,u_2)=T(u_1,u_3)=0$, $T(u_2,u_3)=\Lambda(u_2)(u_3)_{\mathfrak{m}}-\Lambda(u_3)(u_2)_{\mathfrak{m}}-[u_2,u_3]_{\mathfrak{m}}=(-2r_{1,2},0,0)$. При $r_{1,2}\neq 0$ алгебра, порожденная множеством $V=\{[\Lambda(x),\Lambda(y)]-\Lambda([x,y])\,|\,x,y\in\bar{\mathfrak{g}}\}$, то есть $R(u_i,u_j)$, имеет вид $\begin{pmatrix}2s_1&s_2&s_3\\0&-s_1&0\\0&0&-s_1\end{pmatrix}$, она не совпадает с алгеброй голономии (не является совершенной), так как алгебра голономии – $\mathfrak{sl}(3,\mathrm{R})$. В данном случае $\mathfrak{a}_{\bar{\mathfrak{g}}}=\Lambda(\bar{\mathfrak{g}})$ и $\mathfrak{h}^*=\mathfrak{a}_{\bar{\mathfrak{g}}}$ (при $r_{1,2}\neq 0$). При $r_{1,2}=0$ алгебра голономии нулевая.

Рассмотрим теперь случаи 3.5.2 и 3.5.3, тогда

$$\Lambda(e_1)=\begin{pmatrix}0&0&1\\0&0&0\\-1&0&0\end{pmatrix},\ \Lambda(e_2)=\begin{pmatrix}0&1&0\\-1&0&0\\0&0&0\end{pmatrix},\ \Lambda(e_3)=\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&1\\0&-1&0\end{pmatrix}$$

($\Lambda|_{\mathfrak{g}}$ является изотропным представлением $\mathfrak{g}$). Отображение Λ является $\mathfrak{g}$-инвариантным, поэтому аффинная связность имеет вид (см. [2]):

$$\Lambda(u_1)=\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&p_{2,3}\\0&-p_{2,3}&0\end{pmatrix},\ \Lambda(u_2)=\begin{pmatrix}0&0&-p_{2,3}\\0&0&0\\p_{2,3}&0&0\end{pmatrix},\ \Lambda(u_3)=\begin{pmatrix}0&p_{2,3}&0\\-p_{2,3}&0&0\\0&0&0\end{pmatrix}.$$

Тензор кривизны

$$\begin{pmatrix}0&-p_{2,3}^2+\delta&0\\p_{2,3}^2-\delta&0&0\\0&0&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0&0&-p_{2,3}^2+\delta\\0&0&0\\p_{2,3}^2-\delta&0&0\end{pmatrix},\begin{pmatrix}0&0&0\\0&0&-p_{2,3}^2+\delta\\0&p_{2,3}^2-\delta&0\end{pmatrix},$$

$\delta=-1$ в случае 3.5.2, $\delta=1$ в случае 3.5.3. Тензор кручения $T(u_1,u_2)=\left(0,0,-2p_{2,3}\right)$, $T(u_1,u_3)=\left(0,2p_{2,3},0\right)$, $T(u_2,u_3)=\left(-2p_{2,3},0,0\right)$. Для 3.5.3 если ${p_{2,3}}^2\neq 1$ (иначе алгебра голономии нулевая), а для 3.5.2 при любых значениях параметра алгебра голономии –

$$\left\{\left.\begin{pmatrix} 0 & -s_1 & -s_2 \\ s_1 & 0 & -s_3 \\ s_2 & s_3 & 0 \end{pmatrix}\right| s_1,s_2,s_3\in \mathrm{R}\right\}.$$

В этих случаях алгебра, порожденная $V=\{[\Lambda(x),\Lambda(y)]-\Lambda([x,y])\,|\,x,y\in \bar{g}\}$, совпадает с алгеброй голономии, т.е. алгебра голономии является совершенной и не входит в рассматриваемый в работе класс.

В случаях 3.4.2 и 3.4.3 инвариантная аффинная связность имеет вид

$$\begin{pmatrix} 0 & p_{1,2} & 0 \\ 0 & 0 & p_{1,2} \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},\begin{pmatrix} -p_{1,2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p_{1,2} \end{pmatrix},\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -p_{1,2} & 0 & 0 \\ 0 & -p_{1,2} & 0 \end{pmatrix},$$

тензор кривизны

$$\begin{pmatrix} 0 & {p_{1,2}}^2-\delta & 0 \\ 0 & 0 & {p_{1,2}}^2-\delta \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix},\begin{pmatrix} -{p_{1,2}}^2+\delta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & {p_{1,2}}^2-\delta \end{pmatrix},\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ -{p_{1,2}}^2+\delta & 0 & 0 \\ 0 & -{p_{1,2}}^2+\delta & 0 \end{pmatrix},$$

$\delta=-1$ в случае 3.4.3, $\delta=1$ в случае 3.4.2. Тензор кручения $T(u_1,u_2)=\left(2p_{1,2},0,0\right)$, $T(u_1,u_3)=\left(0,2p_{1,2},0\right)$, $T(u_2,u_3)=\left(0,0,2p_{1,2}\right)$. Для 3.4.2 если ${p_{1,2}}^2\neq 1$ (иначе алгебра голономии нулевая), для 3.4.3 при любых значениях параметра алгебра голономии –

$$\left\{\left.\begin{pmatrix} s_2 & s_1 & 0 \\ s_3 & 0 & s_1 \\ 0 & s_3 & -s_2 \end{pmatrix}\right| s_1,s_2,s_3\in \mathrm{R}\right\}.$$

В этом случае алгебра, порожденная $V=\{[\Lambda(x),\Lambda(y)]-\Lambda([x,y])\,|\,x,y\in \bar{g}\}$, совпадает с алгеброй голономии, т.е. алгебра голономии является совершенной и не входит в рассматриваемый в работе класс.

Таким образом, найдены трехмерные однородные пространства, на которых действует полупростая группа преобразований с неразрешимым стабилизатором, допускающие нетривиальную аффинную связность (кривизна и кручение которой не только нулевые) с несовершенной алгеброй голономии, что эквивалентно описанию соответствующих эффективных пар алгебр Ли. Описаны в явном виде тензоры кривизны и кручения и сами алгебры голономии указанных связностей.

Литература

1. Кайгородов В. Р. Римановы пространства. Структура кривизны пространств типа А // Изв. вузов. Математика. 1974. № 5. С. 117–127.

2. Можей Н. П. Трехмерные изотропно-точные однородные пространства и связности на них. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2015. 394 с.

3. Wang H. C. On invariant connections over a principal fibre bundle // Nagoya Math. J. 1958. № 13. P. 1–19.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Моисеева Наталья Александровна, VoronkinaNA@bsu.by

Компьютеры находят свое непосредственное применение во всех сферах деятельности человека, в том числе и в сфере образования. Уже нет сомнения, что информационные и коммуникационные технологии, в частности экономико-математические эксперименты с применением соответствующих программных обеспечений, усовершенствуют традиционную методику обучения. Компьютерные технологии в обучении открывают новые технологические варианты обучения [1].

Компьютерные технологии очень полезны в тех разделах экономического анализа, где без них трудно обойтись, где требуются долгие численные расчеты, где требуется построение большого числа графиков, выяснение зависимости полученного решения от большого числа параметров.

Благодаря моделированию экономических процессов по заданным параметрам в табличном процессоре Microsoft Excel обучающиеся не только лучше понимают суть происходящих процессов, но у них еще развиваются воображение и творческое мышление, появляется мотивация к учению, появляется познавательный интерес к вопросам применения экономико-математического моделирования в своей будущей профессии [2]. Общеизвестно, что мотивированность обусловливает желание учиться, помогает преодолевать трудности, увеличивает производительность, позволяет подключать все имеющиеся резервы. Чем выше мотивированность студента, тем больше вероятность его успешного обучения [2]. Существует множество методов, при помощи которых можно активизировать студентов до