

УДК 621.928.93

ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ОПТИМИЗАЦИИ ХАРАКТЕРИСТИК ВЕРХНЕГО ВВОДА ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ СО ВСТРЕЧНЫМИ ЗАКРУЧЕННЫМИ ПОТОКАМИ

¹Боровков Д.П., ²Сидякин П.А., ¹Бурба И.В., ²Экба С.И.

¹ФГБОУ ВПО «Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет», Волгоград, e-mail: frigate@yandex.ru;

²ФГАОУ ВПО «Северо-Кавказский федеральный университет», Пятигорск, e-mail: sidyakin_74@mail.ru, ekba.s.ig@gmail.com

Целью работы являлась оптимизация характеристик верхнего ввода пылеуловителей со встречными закрученными потоками. Исследовано распределение скоростей в сепарационной камере пылеуловителей на встречных закрученных потоках. Определены оптимальные значения интенсивности начальной закрутки потока, получены зависимости, описывающие влияние начальной интенсивности закрутки потока на эффективность улавливания и аэродинамическое сопротивление пылеуловителей на встречных закрученных потоках. Установлено, что наиболее существенное влияние на эффективность пылеуловителей на встречных закрученных потоках оказывает интенсивность закрутки потока, создаваемая верхним тангенциальным вводом. Экспериментально установлено повышение эффективности пылеулавливания вихревых инерционных пылеуловителей при увеличении параметра закрутки потока верхнего ввода. Анализ экспериментальных данных позволяет определить оптимальные значения интенсивности закрутки верхнего ввода вихревых инерционных пылеуловителей.

Ключевые слова: пылеуловитель, встречно закрученные потоки, эффективность пылеулавливания, аэродинамическое сопротивление

THE RESEARCH ON OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS OF THE UPPER INPUT OF DUST COLLECTORS WITH COUNTER SWIRLING FLOW

¹Borovkov D.P., ²Sidyakin P.A., ¹Burba I.V., ²Ekba S.I.

¹Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering (VSUACE),

Volgograd, e-mail: frigate@yandex.ru

²North-Caucasus Federal University, Pjatigorsk, e-mail: sidyakin_74@mail.ru, ekba.s.ig@gmail.com

The purpose was to optimize the characteristics of the upper input precipitators with counter swirling flows. The distribution of velocities in the separation chamber precipitators on counter swirl flows. The optimal value of the initial intensity of swirl flow, the dependences describing the effect of the initial intensity of swirl flow in the collection efficiency and pressure drop precipitators on counter swirl flows. Found that the most significant effect on the collection efficiency precipitators colliding swirling currents swirling intensity has created an upper tangential inlet. Experimentally established efficiency dedusting vortex inertial precipitators with increasing parameter swirling top entry. Analysis of experimental data to determine the optimal values of the intensity of the vortex spin top entry inertial precipitators.

Keywords: dust collector, counter swirling flows, dust collection efficiency, aerodynamic drag

В последние годы на предприятиях строительной индустрии в качестве пылеулавливающих средств сухой очистки получили широкое распространение вихревые пылеуловители на встречных закрученных потоках (ВЗП) [1]. Внедрение вихревых пылеуловителей обусловлено рядом преимуществ по сравнению с циклонными пылеуловителями, важнейшим из которых является более высокая степень улавливания мелкодисперсной пыли.

Большинство исследований посвящено оптимизации аэродинамического режима работы пылеуловителей ВЗП [1–5]. Результаты же исследований конструктивных характеристик аппаратов ВЗП отличаются существенно меньшим объемом, и в основном, сводятся к разработке и исследованиям различных компоновочных схем для систем аспирации и обеспыливающей вентиляции.

В ходе анализа типовых размеров различных серий пылеуловителей ВЗП и вихревых инерционных пылеуловителей (ВИП) установлено, что за основу при их проектировании брались типовые пылеуловители циклонного типа. Однако ввиду существенных отличий, обусловленных наличием вторичного закрученного потока, процесс пылеулавливания может происходить в неоптимальном режиме.

Целью работы являлась оптимизация характеристик верхнего ввода пылеуловителей со встречными закрученными потоками на основе исследования распределения скоростей в сепарационной камере пылеуловителей ВЗП, определения оптимальных значений интенсивности начальной закрутки потока, получения зависимостей, описывающих влияние начальной интенсивности закрутки потока на эффективность улавливания и аэродинамическое сопротивление пылеуловителей ВЗП.

**Экспериментальные результаты
и их обсуждение**

Для получения данных о параметрах пристеночного течения в пылеуловителях на встречных закрученных потоках были проведены экспериментальные исследования. Анализ экспериментальных результатов определения окружной и осевой составляющих скоростей газового потока в пристенной зоне сепарационной камеры позволяет сделать предположение об автономности кинематической структуры течения в пристенной зоне по отношению к начальному значению интенсивности закрутки потока Φ_0^* . Уравнения, описывающие затухание интенсивности закрутки, имеют вид

$$\operatorname{tg}(\varphi)/\operatorname{tg}(\varphi)_0 = 0,902(h/D)^{-0,129}; \quad (1)$$

$$U_\tau/U_{\tau 0} = 0,88(h/D)^{-0,183}. \quad (2)$$

Основными силами, оказывающими значимое влияние на пылевую частицу, движущуюся в пристенной зоне сепарационной камеры пылеуловителя ВЗП, являются: сила сопротивления обтеканию газовым

потоком; центробежная сила; Кориолисова сила; сила тяжести. В радиальном направлении на частицу оказывают воздействие центробежная сила F_μ и радиальная проекция силы сопротивления обтеканию газовым потоком F_μ . Для определения последней использована гипотеза об отсутствии радиальной составляющей скорости газового потока в пристенной зоне слабо и умеренно закрученного течения. Таким образом:

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = m \left(\frac{d\phi}{dt} \right)^2 r + \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 \frac{\rho \lambda_\mu \pi d_\mu^2}{8}. \quad (3)$$

Проекция сил на подвижную касательную ось τ складывается из проекции силы сопротивления обтеканию потоком F_μ и Кориолисовой силы. Заменяя угловую скорость линейной на подвижной оси, получим

$$m \frac{d^2 \tau}{dt^2} = \left(\frac{d\tau}{dt} - U_\tau \right)^2 \frac{\rho \lambda_\mu \pi d_\mu^2}{8} - m \frac{2}{r} \frac{dr}{dt} \frac{d\tau}{dt}. \quad (4)$$

Проекция сил на вертикальную (продольную) ось складывается из силы тяжести F_m и вертикальной проекции силы сопротивления обтеканию частицы газовым потоком F_μ :

$$m \frac{d^2 y}{dt^2} = (F_\mu + P) = \left(\frac{dy}{dt} - U_x \right)^2 \frac{\rho \lambda_{x\mu} \pi d_\mu^2}{8} - mg. \quad (5)$$

Для упрощения полученных уравнений, характеризующих проекции сил на продольную и подвижную касательную оси, принимается допущение о совпадении окружной и продольной составляющих скорости соответствующим проекциям скорости газового потока. Тогда

уравнения, описывающие движение частицы, принимают вид

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = m \left(\frac{d\phi}{dt} \right)^2 r + \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 \frac{\rho \lambda_\mu \pi d_\mu^2}{8};$$

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{U_\tau}{R}; \quad \frac{dx}{dt} = U_x. \quad (6)$$

Используя соотношение (1) и (2), имеем

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = mr \left(\frac{0,88 U_{\tau 0} x^{-0,183}}{R} \right)^2 + \left(\frac{dr}{dt} \right)^2 \frac{\rho \lambda_\mu \pi d_\mu^2}{8};$$

$$\frac{d\phi}{dt} = \frac{0,88 U_{\tau 0}}{R} x^{-0,183}; \quad \frac{dx}{dt} = 0,794 U_{\tau 0} x^{-0,312}. \quad (7)$$

Для оценки влияния, оказываемого на эффективность улавливания аппарата ВЗП интенсивности закрутки, создаваемой верхним вводом, проведены численные эксперименты. Достаточным условием, позволяющим сделать вывод о сепарации пылевидной частицы, является значение радиальной координаты, равное радиусу сепарационной камеры $r = R$. При этом значение угловой координаты ϕ не имеет практического значения. В качестве переменных

приняты размер пылевой частицы d_μ и начальный параметр интенсивности закрутки потока Φ_0^* .

Как следует из полученных результатов, приведенных на рис. 1, минимальный размер частиц, сепарируемых в результате контакта со стенкой при прохождении сепарационной камеры, составляет 25 мкм. Для улавливания частиц данной фракции необходимо задавать значения $\Phi_0^* = 6$.

Минимальное значение интенсивности начальной закрутки, принятое в ходе эксперимента, позволяющее согласно расчетам улавливать частицы кварцевого песка крупностью 37 мкм, составляет $\Phi_0^* = 4$. На рис. 2 пред-

ставлена зависимость начального параметра интенсивности закрутки потока верхним тангенциальным вводом пылеуловителя ВЗП, необходимого для сепарирования частиц кварцевого песка различной крупности $\Phi_0^*(d_q)$.

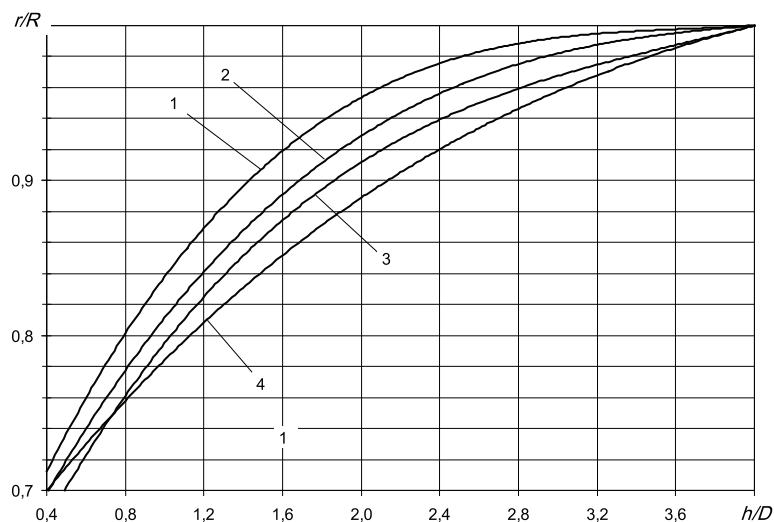


Рис. 1. Результаты расчета зависимости радиальной координаты пылевой частицы от вертикальной при движении в сепарационной камере пылеуловителя ВЗП:
1 – $d_q = 37$, $\Phi_0^* = 4$; 2 – $d_q = 35$, $\Phi_0^* = 4,4$; 3 – $d_q = 33$, $\Phi_0^* = 4,8$; 4 – $d_q = 25$, $\Phi_0^* = 6$

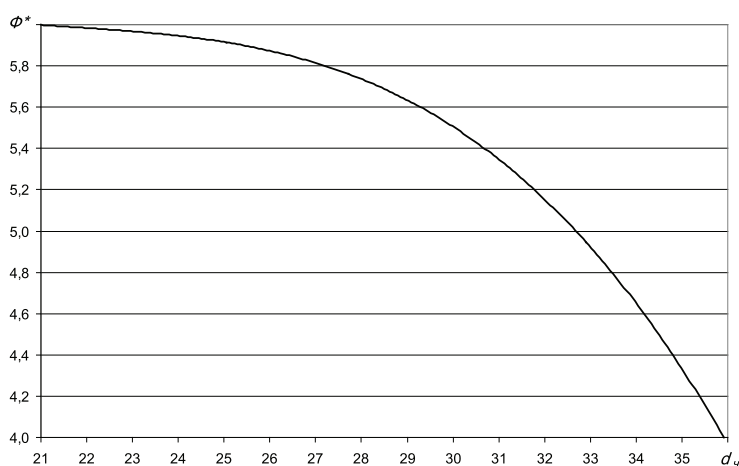


Рис. 2. Расчетная зависимость формпараметра закрутки потока верхнего ввода пылеуловителя ВЗП от размера пылевой частицы $\Phi_0^*(d_q)$

Для проверки выводов, полученных теоретическим путем, проведены экспериментальные исследования, целью которых являлась оптимизация интенсивности закрутки потока, создаваемой верхним тангенциальным вводом пылеуловителя ВЗП и относительного заглубления аксиального выходного патрубка в сепарационную камеру. При проведении исследований в качестве определяющих факторов были выбраны: Re_{cp} – среднерасходное чис-

ло Рейнольдса в сепарационной камере; Φ_0^* – формпараметр закрутки, создаваемый сменным верхним тангенциальным вводом; h/D – заглубление выходного аксиального патрубка в сепарационную камеру, отнесенное к диаметру аппарата; $L_n/L_{общ}$ – отношение расхода, поступающего на нижний ввод, к общему подаваемому в пылеуловитель.

В результате аппроксимации экспериментальных данных полиномом второй степени получены уравнения, характеризую-

ющие зависимость эффективности улавливания и коэффициента местного сопротивления от экспериментальных факторов. Для

режима работы пылеуловителя, характеризующегося значением $Re_{cp} = 50000$, уравнения имеют вид

$$\eta = 23,30 + 14,23\Phi_r^8 - 1,68\frac{h}{D} + 189,25\frac{L_n}{L_{общ}} - 1,01(\Phi_r^8)^2 - 0,10\left(\frac{h}{D}\right)^2 - 321,33\left(\frac{L_n}{L_{общ}}\right)^2 - 0,13\Phi_r^8 \cdot \frac{h}{D} \cdot \frac{L_n}{L_{общ}}; \quad (8)$$

$$\xi = 235,13 - 64,17\Phi_r^8 + 27,23\frac{L_n}{L_{общ}} + 8,45(\Phi_r^8)^2 - 50,0\left(\frac{L_n}{L_{общ}}\right)^2 + 10\Phi_r^8 \cdot \frac{h}{D} \cdot \frac{L_n}{L_{общ}}. \quad (9)$$

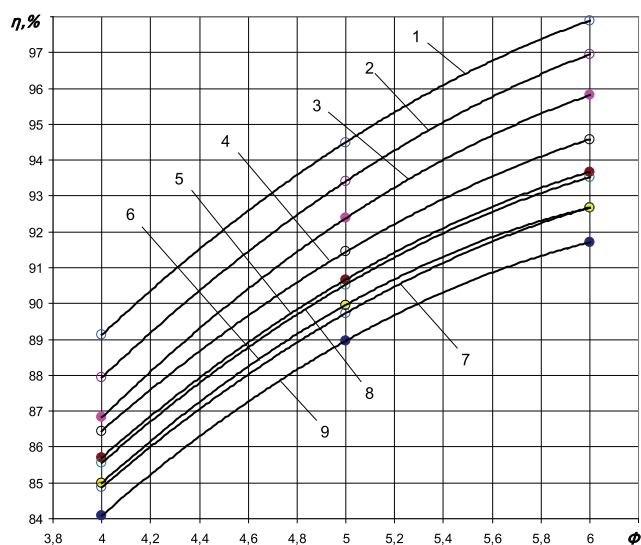


Рис. 3. Зависимость эффективности пылеулавливания аппарата ВИП от геометрического параметра эффективности закрутки верхнего ввода $\eta(\Phi_r^*)$ при $Re_{cp} = 50000$:

- 1 – $L_n/L_{общ} = 0,3, h/d = 1,4$; 2 – $L_n/L_{общ} = 0,3, h/d = 1,8$; 3 – $L_n/L_{общ} = 0,3, h/d = 2,2$;
- 4 – $L_n/L_{общ} = 0,2, h/d = 1,4$; 5 – $L_n/L_{общ} = 0,2, h/d = 1,8$; 6 – $L_n/L_{общ} = 0,2, h/d = 2,2$;
- 7 – $L_n/L_{общ} = 0,4, h/d = 1,4$; 8 – $L_n/L_{общ} = 0,4, h/d = 1,8$; 9 – $L_n/L_{общ} = 0,4, h/d = 2,2$

На рис. 3 приведена зависимость эффективности пылеулавливания аппарата ВИП от геометрического параметра эффективности закрутки верхнего ввода. Как следует из приведенных результатов, эффективность улавливания существенно возрастает при увеличении интенсивности закрутки потока в верхнем вводе во всем диапазоне варьирования экспериментальных факторов. На практике повышение величины Φ_r^* до величин выше 5,5 нежелательно ввиду существенного повышения аэродинамического сопротивления пылеуловителя, о чем свидетельствуют данные, приведенные на рис. 4. Так, например, при увеличении интенсивности закрутки с $\Phi_r^* = 5$ до $\Phi_r^* = 6$ происходит увеличение коэффициента местного сопротивления пылеуловителя на величину 48...52% в зависимости от режима работы.

Совместный анализ экспериментальных данных по эффективности пылеулавливания и аэродинамическому сопротивлению позволяет считать оптимальными значения интенсивности закрутки верхнего ввода аппаратов ВИП лежащими в пределах $\Phi_r^* = 5,2...5,4$.

Выводы

1. Установлено, что наиболее существенное влияние на эффективность улавливания пылеуловителей ВЗП оказывает интенсивность закрутки потока, создаваемая верхним тангенциальным вводом.
2. Проведены экспериментальные исследования по оптимизации конструктивных параметров верхнего ввода пылеуловителя типа ВИП. Экспериментально установлено повышение эффективности пылеулавливания аппарата ВИП при увеличении параметра закрутки потока верхнего ввода.

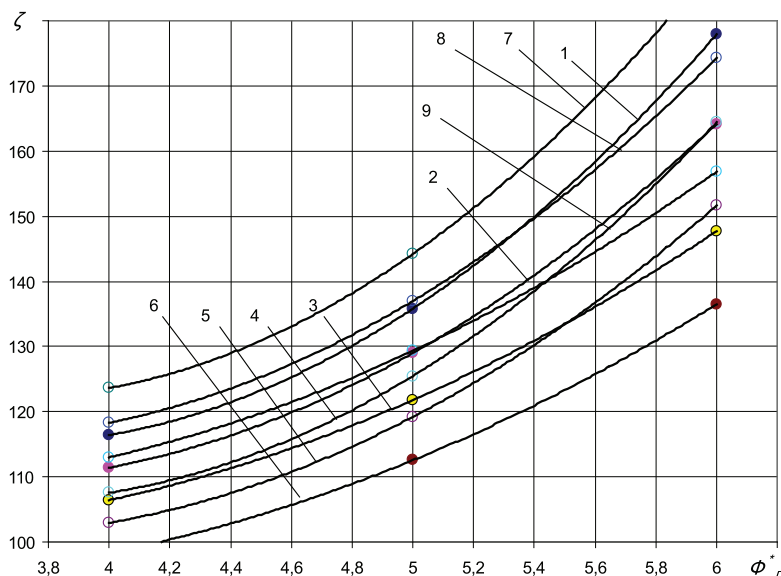


Рис. 4. Зависимость коэффициента местного сопротивления аппарата ВИП от геометрического параметра эффективности закрутки верхнего ввода $\zeta(\Phi^*)$:

- 1 – $Re = 50000$, $L_h/L_{общ} = 0,3$; 2 – $Re = 50000$, $L_h/L_{общ} = 0,2$; 3 – $Re = 50000$, $L_h/L_{общ} = 0,4$;
 4 – $Re = 60000$, $L_h/L_{общ} = 0,3$; 5 – $Re = 60000$, $L_h/L_{общ} = 0,2$; 6 – $Re = 60000$, $L_h/L_{общ} = 0,4$;
 7 – $Re = 40000$, $L_h/L_{общ} = 0,3$; 8 – $Re = 40000$, $L_h/L_{общ} = 0,2$; 9 – $Re = 40000$, $L_h/L_{общ} = 0,4$

3. Анализ экспериментальных данных позволяет считать оптимальными значения интенсивности закрутки верхнего ввода аппаратов ВИП лежащими в пределах $\Phi_r^* = 5,2 \dots 5,4$.

Условные обозначения

L – расход аспирационного газа, $m^3/ч$; V – скорость пылевой частицы, m/c ; r – радиальная координата, m ; $tg\varphi_0$ – локальный параметр интенсивности закрутки потока; Φ^* – интегральный параметр закрутки потока; Φ_r^* – интегральный параметр закрутки потока, создаваемый закрутителем; ξ – коэффициент местного сопротивления; m^2/c ; ρ – плотность воздуха, kg/m^3 ; ρ_{ch} – плотность частицы, kg/m^3 ; d_{ch} – эквивалентный диаметр частицы, m ; v_r , v_x – соответственно окружная и осевая составляющие скорости движения газа.

Список литературы

1. Азаров В.Н. Пылеуловители со встречными закрученными потоками. Опыт внедрения: монография. – Волгоград: РПК Политехник, 2004. – 136 с.
2. Азаров В.Н., Сергина Н.М. Системы пылеулавливания с инерционными аппаратами в производстве строительных материалов // Строительные материалы. – 2003. – № 8. – С. 14–15.
3. Азаров В.Н., Боровков Д.П. Применение закрученных потоков в системах аспирации строительной отрасли // Обединенный научный журнал. – 2003. – № 5 (63). – С. 102–104.
4. Обеспечение безопасности воздушной среды помещений по производству деревянных строительных конструкций / В.Н. Азаров, П.А. Сидякин, С.И. Экба, Е.А. Семенова, Д.П. Боровков // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 2(27). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Azarov_Sidyakin_Ekba_Semenova_Borovkov-2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/Azarov_Sidyakin_Ekba_Semenova_Borovkov-2013_2(27).pdf).
5. Применение раскручивателей для утилизации энергии закрученного потока в пылеуловителях на встречных закрученных потоках / Д.П. Боровков, П.А. Сидякин, С.И. Экба, Е.А. Семенова, С.В. Шульга // Современные фундаментальные и прикладные исследования: материалы

II междунаrod. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы современности», г. Кисловодск, 17–18 августа 2013 г. – Кисловодск: УЦ «МАГИСТР», 2013 г. С. 105–111.

References

1. Azarov V.N. Pyleuloviteli so vstrechnymi zakruchennymi potokami. Opyt vnedreniya. Monografiya. Volgograd: RPK Politehnik, 2004. 136 p.
2. Azarov V.N., Sergina N.M. Sistemy pyleulavlivanja s inercionnymi apparatami v proizvodstve stroitel'nyh materialov // Stroitel'nye materialy. 2003. no. 8. pp. 14–15.
3. Azarov V.N., Borovkov D.P. Primenenie zakruchennyh potokov v sistemah aspiracii stroitel'noj otrasli // Obedinennyj nauchnyj zhurnal. 2003. no. 5 (63). pp. 102–104.
4. Obespechenie bezopasnosti vozduшной srede pomeshenij po proizvodstvu derevjannyh stroitel'nyh konstrukcij / V.N. Azarov, P.A. Sidyakin, S.I. Jekba, E.A. Semenova, D.P. Borovkov // Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaja. 2013. Vyp. 2(27). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/AzarovSidyakinEkbaSemenovaBorovkov-2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/AzarovSidyakinEkbaSemenovaBorovkov-2013_2(27).pdf).
5. Primenenie raskruchivatelej dlja utilizacii jenerгии zakruchennogo potoka v pyleuloviteljah na vstrechnyh zakruchennyh potokah / D.P. Borovkov, P.A. Sidyakin, S.I. Jekba, E.A. Semenova, S.V. Shul'ga // Sovremennye fundamental'nye i prikladnye issledovanija: materialy II mezhdunarod. nauch.-prakt. konf. «Aktual'nye problemy sovremennosti», g. Kislovodsk, 17–18 avgusta 2013 g. Kislovodsk: UC «MAGISTR», 2013 g. pp. 105–111.

Рецензенты:

Курков С.Н., д.т.н., профессор кафедры Пензенского артиллерийского инженерного института, (филиал) ФГКУ ВПО «Военная академия материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева» Министерства обороны Российской Федерации, г. Пенза;

Першин И.М., д.т.н., профессор, заместитель директора филиала Северо-Кавказского федерального университета по научной работе, заведующий кафедрой управления в технических и биомедицинских системах, г. Пятигорск.

Работа поступила в редакцию 19.12.2013.