

Каждый год в нашей стране, да и во всем мире миллиарды тонн жидких, твердых, газообразных, пастообразных отходов попадает в биосферу, где наносит непоправимый урон как неживой, так и живой природе.

Из множества различных методов обработки отходов химико-фармацевтической промышленности только термические гарантируют полную дезинфекцию и уничтожение, что предотвращает возникновение потенциальной опасности и развитие ее в ЧС.

Ведь возможность использовать технологию плазменной деструкции для переработки разнородного исходного сырья при его минимальной подготовке уникальна. Способ сжигания твердых бытовых отходов при температуре 1500°C не требует предварительной подготовки мусора, отличается высокой надежностью, обеспечивает выполнение экологических требований к продуктам сгорания и позволяет резко снизить потребность в полигонах для складирования остатков переработанных ТБО.

В результате проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

Проведен анализ рынка готовой продукции, рассмотрены такие установки по сжиганию промышленных отходов, как печь Ванюкова, многоподовая и барабанная печь, процесс переработки компании «Thermoselect», американская установка надслоевого горения и плазменные печи.

Рассмотрены устройства для сжигания производственных отходов химико-фармацевтической промышленности в области научных разработок.

Проведено обоснование перспективного метода сжигания промышленных отходов, включая вопросы экономики, а также обоснование исходных данных для проектирования промышленной установки по выбранному методу сжигания.

Несмотря на то, что плазменная технология добавляет значение стоимости энергозатрат вследствие увеличения температуры процесса, в конечном итоге снижает стоимость утилизации отходов. Это происходит за счет снижения капитальных затрат, уменьшения технологических стадий процесса и материалоемкости оборудования.

Литература.

1. Бобович Б.Б. Управление отходами: Учебное пособие / Б.Б. Бобович. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2013. – 88 с. – (Высшее образование. Бакалавриат).
2. СанПиН 2.1.7.728-99. Правила сбора, хранения и удаления отходов лечебно-профилактических учреждений
3. Шубов Л.Я. Технология твердых бытовых отходов: учебник / Л.Я. Шубов, М.Е. Ставровский, А.В. Олейник; под ред. Проф. Л.Я. Шубова. – М.: ИНФРА – М, 2011. – 400с.
4. Раковская Е.Г. Промышленная экология. - СПб: Питер, 2012. – 120 с.
5. Зуева Л.П. Отходы учреждений здравоохранения: современное состояние проблемы, пути решения. - СПб, 2003
6. Бобович Б.Б. Транспортирование, сжигание и захоронение отходов: Учебное пособие. – М.: Моск. гос. индустр. университет, 2011. – 340 с.
7. Пальгунов П.П. Утилизация промышленных отходов. - М.: Альфа, 2012. – 215 с.
8. Промышленные установки для сжигания отходов [Электронный ресурс] URL: <http://msd.com.ua/>
9. Родионов А.И. Защита биосферы от промышленных выбросов. Основы проектирования технологических процессов. – М.: Химия, КолосС, 2005. – 392с.
10. Кукуева Т.И. Утилизация промышленных и бытовых отходов. Томск: изд-во Книга, 2009. – 300 с.
11. Бобович Б.Б., Девяткин В.В. переработка отходов производства и потребления: Справочное издание / Под ред. докт. техн. наук, проф. Б.Б. Бобовича. – М.: «Интернет Инжиниринг», 2000. – 496с.

## **ИЗМЕНЕНИЕ ПРОТИВОПОЖАРНОГО РАЗРЫВА ОТ СКОРОСТИ ВЕТРА И СВОЙСТВ ЛЕСНОГО МАССИВА**

*К.О. Фрянова, Д.П. Гербель, студенты*

*Томский политехнический университет, г.Томск  
634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, тел.(3822)701777*

*E-mail: kof1@tpu.ru*

В результате лесных пожаров ежегодно в Российской Федерации гибнет около 1 млн. га леса.

Наиболее опасным видом пожаров являются верховые. На их долю приходится до 70% выгоревшей площади. Верховой пожар распространяется по кронам деревьев. При этом чаще всего горит весь древостой. Возникновение и развитие верховых пожаров происходит, в основном, от низовых в

древостоях с низкоопущенными кронами, в разновозрастных хвойных, в многоярусных и с обильным подростом насаждениях, а также в горных лесах. Скорость верховых пожаров: устойчивого 300 – 1500 м/ч, беглого - 4000 – 5000 м/ч. [2]

Следует отметить, что до сих пор не выяснены до конца механизмы и условия возникновения различных видов лесных пожаров. Тушение лесных пожаров требует больших затрат сил и средств, и, в подавляющем большинстве случаев, малоэффективно или невозможно. Экспериментальные методы изучения лесных пожаров являются дорогостоящими и не позволяют проводить полное физической моделирование данного явления, представляют интерес теоретические методы исследования. [3]

Поэтому изучение данного явления с помощью метода математического моделирования помогает разработать профилактические меры по предотвращению и определению возможности возникновения лесных пожаров, ведь математическая модель – это приближенное описание объекта моделирования, выраженное с помощью математической символики.

В данной работе приводятся результаты расчетов возникновения и распространения верхового лесного пожара по осредненной по высоте полого леса в двухмерной постановке, полученной на основе общей математической модели пожаров [1-3]. Пусть начало системы координат  $x_1, x_2, x_3=0$  связано с центром источника возникновения лесного пожара, ось  $0x_3$  направлена вверх, а оси  $0x_1$  и  $0x_2$  - параллельно поверхности земли (ось  $x_1$  совпадает с направлением ветра) (рис.1).

В связи с тем, что горизонтальные размеры лесного массива много больше вертикального размера, общая трехмерная система дифференциальных уравнений, описывающая процессы тепломассопереноса в лесном массиве [1,3], может быть проинтегрирована по вертикальной координате  $x_3$ . Осреднение исходных характеристик по высоте полого леса  $h$  произведено с целью упрощения математической постановки задачи. Приводя основную систему уравнений, по аналогии с [2], к дивергентному виду [2], проинтегрируем, ее по высоте от напочвенного покрова до уровня верхней границы полого леса. Считается, что: 1) течение носит развитый турбулентный характер и молекулярным переносом пренебрегаем по сравнению с турбулентным, 2) плотность газовой фазы не зависит от давления из-за малости скорости течения по сравнению со скоростью звука, 3) среда находится в локально-термодинамическом равновесии, 4) известна скорость ветра над напочвенным покровом в невозмущенных условиях, 5) газодисперсная смесь бинарна и состоит из частиц конденсированной фазы, а также газовой фазы - компонентов кислорода, газообразных горючих и инертных компонентов, 6) характерные размеры лесного массива в горизонтальном направлении превышают высоту полого леса.

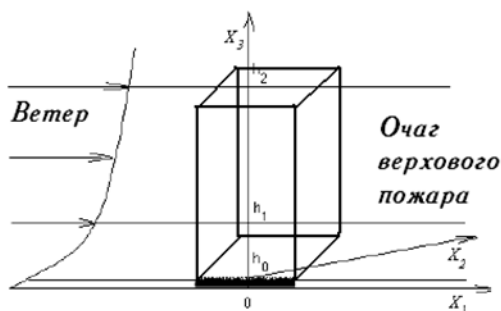


Рис.1. Схема расчётной области

Данная выше задача сводится к решению следующей системы дифференциальных уравнений:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho v_j) = \dot{m} - (\dot{c}^- - \dot{c}^+) / h, \quad j = 1, 2, \quad i = 1, 2, 3; \quad (1)$$

$$\rho \frac{dv_i}{dt} = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \bar{v}_i \bar{v}_j) - \rho s c_d v_i |\bar{v}| - \rho g_i - \dot{m} v_i + (\tau_i^- - \tau_i^+) / h; \quad (2)$$

$$\rho c_p \frac{dT}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho c_p \bar{v}_j \bar{T}') + q_5 R_5 - \alpha_v (T - T_s) + (q_T^- - q_T^+) / h + k_g (cU_R - 4\sigma T^4) \quad (3)$$

$$\rho \frac{dc_\alpha}{dt} = \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{v'_j c'_\alpha}) + R_{5\alpha} - \dot{m} c_\alpha + (J_\alpha^- - J_\alpha^+) / h, \alpha = 1, 5; \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_j} \right) - kcU_R + 4k_s \sigma T_s^4 + 4k_g \sigma T^4 + (q_R^- - q_R^+) / h = 0, k = k_g + k_s; \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^4 \rho_i c_{pi} \varphi_i \frac{\partial T_s}{\partial t} = q_3 R_3 - q_2 R_2 + k_s (cU_R - 4\sigma T_s^4) + \alpha_v (T - T_s); \quad (6)$$

$$\rho_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial t} = -R_1, \rho_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial t} = -R_2, \rho_3 \frac{\partial \varphi_3}{\partial t} = \alpha_c R_1 - \frac{M_c}{M_1} R_3, \rho_4 \frac{\partial \varphi_4}{\partial t} = 0; \quad (7)$$

$$\sum_{\alpha=1}^5 c_\alpha = 1, p_e = \rho RT \sum_{\alpha=1}^5 \frac{c_\alpha}{M_\alpha}, \vec{v} = (v_1, v_2, v_3), \vec{g} = (0, 0, g),$$

$$\dot{m} = (1 - \alpha_c) R_1 + R_2 + \frac{M_c}{M_1} R_3 + R_{53} + R_{54},$$

$$R_{51} = -R_3 - \frac{M_1}{2M_2} R_5, R_{52} = v(1 - \alpha_c) R_1 - R_5, R_{53} = \alpha_6 R_1,$$

$$R_{54} = \frac{\alpha_4 w}{w + w_*} R_3, R_{55} = 0.$$

$$t=0: v_i=0, T=T_e, c_\alpha=c_{\alpha e}, T_s=T_e, \phi_k=\phi_{ke}, i=1,2,3; k=1,5; \alpha=1,5; \quad (8)$$

$$x_1 = -x_{1e}: v_1 = V_e, v_2 = 0, v_3 = 0, T = T_e, c_\alpha = c_{\alpha e}, -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_1} + \frac{cU_R}{2} = 0; \quad (9)$$

$$x_1 = x_{1e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial v_3}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_1} = 0, \frac{\partial T}{\partial x_1} = 0, \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_1} + \frac{cU_R}{2} = 0; \quad (10)$$

$$x_2 = -x_{2e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial v_3}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial T}{\partial x_2} = 0, -\frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_2} + \frac{cU_R}{2} = 0; \quad (11)$$

$$x_2 = x_{2e}: \frac{\partial v_1}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial v_2}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial v_3}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial c_\alpha}{\partial x_2} = 0, \frac{\partial T}{\partial x_2} = 0, \frac{c}{3k} \frac{\partial U_R}{\partial x_2} + \frac{cU_R}{2} = 0.$$

$$\rho v_3 = h_0 \dot{m}, T = T_s = \begin{cases} T_e + \frac{t}{t_0} (T_0 - T_e), & t \leq t_0 \\ T_e + (T_0 - T_e) \exp \left[ -k \left( \frac{t}{t_0} - 1 \right) \right], & t > t_0 \end{cases} \quad (12)$$

Для определения скоростей, реакций пиролиза, испарения влаги, горения кокса, и летучих продуктов пиролиза используются формулы [1].

Значение температуры в очаге зажигания  $|x_1| \leq \Delta_x, |x_2| \leq \Delta_y$ , задается в зависимости от времени внутри расчетной области (Рис.1.). В представленной выше системе уравнений, начальных и граничных условиях используются следующие обозначения:  $R_1$ - $R_5$ ,  $R_{5\alpha}$  - массовые скорости пиролиза лесных горючих материалов, испарения влаги, горения конденсированных и летучих продуктов пиролиза, образования сажи и пепла и образования  $\alpha$  - компонентов газодисперсной фазы;  $t_0$  - время формирования очага горения,  $c_{pi}$ ,  $\rho_i$ ,  $\varphi_i$  - удельные теплоемкости, истинные плотности и объемные доли  $i$  - ой фазы (1 - сухое органическое вещество, 2-вода в жидко - капельном состоянии, 3 - конденсированные продукты пиролиза, 4 - минеральная часть, 5 - газовая фаза);  $T$ ,  $T_s$  - температура газовой и конденсированной фаз;  $c_\alpha$  - массовые концентрации ( $\alpha=1$  - кислород, 2 - горючие продукты пиролиза, 3 - сажа, 4 - пепел, 5 - инертные компоненты воздуха);  $p$  - давление;  $U_R$  - плотность энергии излучения;  $\sigma$ -постоянная Стефана-Больцмана;  $k$  - коэффициент ослабления излучения;  $k_g$ ,  $k_s$  - коэффициенты поглощения для газодисперсной и конденсированной фаз;  $\alpha_i$ -коэффициент обмена фаз,  $q_i$ ,

$E_i, k_i$  - тепловые эффекты, энергии активации и предэкспоненты реакций пиролиза, испарения, горения кокса и летучих продуктов пиролиза;  $s_\sigma$  - удельная поверхность элемента лесных горючих материалов;  $M_\alpha, M_c, M$  - молекулярные веса индивидуальных компонентов газовой фазы, углерода и воздушной смеси;  $s, c_d$  - удельная поверхность фитомассы и эмпирический коэффициент сопротивления полого леса;  $c$  - скорость света;  $v_i$  - проекции скорости на оси  $x_i$ ;  $\alpha_c, v$  - коксовое число и массовая доля горючих газов в массе летучих продуктов пиролиза;  $\dot{m}$  - массовая скорость образования газодисперсной фазы;  $v_{z*}$  - характерная скорость вдува из очага лесного пожара;  $\alpha_d, \alpha_6$  - эмпирические константы;  $g$  - ускорение свободного падения;  $\dot{c}^-, \dot{c}^+, \tau_i^-, \tau_i^+, J_\alpha^-, J_\alpha^+, q_T^-, q_T^+, q_R^-, q_R^+$  - переменные, полученные при осреднении характеристик по высоте полого леса. Индексы "0" и "e" относятся к значениям функций в очаге горения и на большом расстоянии от зоны пожара соответственно. Верхний индекс " " относится к пульсационной составляющей данной величины.

Для численного интегрирования исходной системы уравнений используется метод контрольного объема.

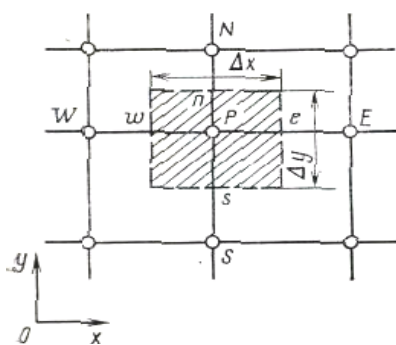


Рис. 2. Контрольный объем (заштрихованная область) для двухмерного случая

Расчётную область разбиваем на некоторое число не пересекающихся контрольных объёмов. Затем исходную систему уравнений интегрируем по каждому контрольному объёму.

Система уравнений (1)-(7) редуцирована к дискретной форме с помощью метода контрольного объёма [4]. Сеточные уравнения, возникающие в процессе дискретизации, разрешались с помощью метода SIP [2]. Алгоритм решения приведенной задачи включает в себя расщепление по физическим процессам, то есть вначале рассчитывалась гидродинамическая картина, а затем решались уравнения химической кинетики и учитывались химические источники для скалярных

функций. При этом шаг по времени для интегрирования системы обыкновенных уравнений выбирался автоматически. Согласование полей скорости и давления осуществлялось в рамках алгоритма SIMPLE [4].

На основе изложенной математической модели были проведены численные расчеты по определению картины процесса возникновения верхового лесного пожара в результате зажигания полого леса от заданного очага горения.

В результате численного интегрирования получены поля распределения линий равного уровня (изолиний) температуры, концентраций кислорода и летучих горючих продуктов пиролиза при распространении верховых лесных пожаров через противопожарные разрывы. На основе полученных данных нами изучена зависимость критических размеров противопожарных разрывов от основных характеристик лесных массивов и скорости ветра (Рис. 3-4). Анализируя Рис.3-4. можно сделать вывод, что с увеличением скорости ветра необходимо увеличивать разрыв, а так же чем больше влаги содержится в ЛГМ и чем больше его запас, тем меньшая ширина просеки требуется для предотвращения распространения пожара.

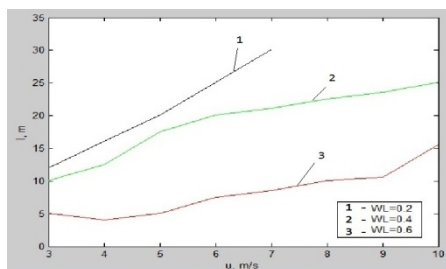


Рис. 3. Зависимость минимальной ширины разрыва от скорости ветра и влагосодержания ЛГМ

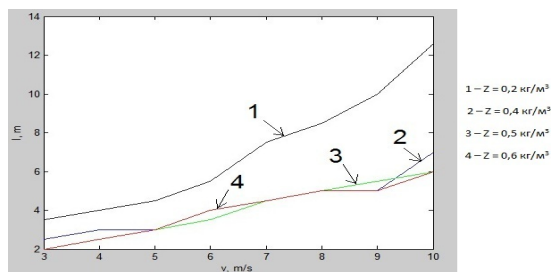


Рис. 4. Зависимость минимальной ширины разрыва от скорости ветра и запасов ЛГМ

На Рис. 5-6 а) и б) представлены распределения основных функций для двух случаев преодоления и непреодоления разрывов.

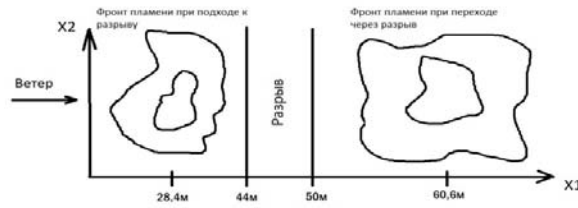
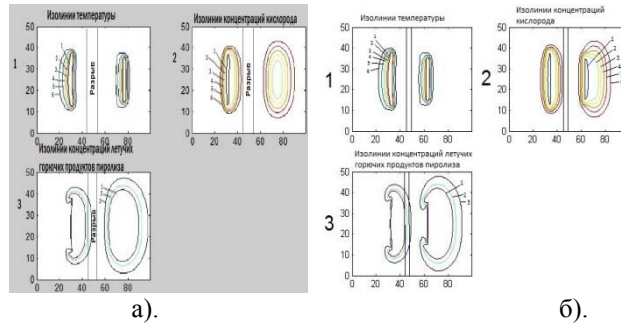


Схема 1. Схема распространения пожара через противопожарный разрыв



Изотермы газовой фазы  $\bar{T}$  ( $\bar{T} = T/T_e, T_e = 300K$ ): 1- 1.5; 2 - 2; 3 - 2.6; 4 - 3; 5 - 3.5; 6 - 4.

Изолинии концентрации кислорода ( $\bar{c}_1 = c_1/c_{1e}, c_{1e} = 0.23$ ):  
 1 - 0.1; 2 - 0.5; 3 - 0.6; 4 - 0.7; 5 - 0.8; 6 - 0.9.

Изолинии концентрации продуктов пиролиза ( $\bar{c}_2 = c_2/c_{1e}, c_{1e} = 0.23$ ): 1 - 0.01; 2 - 0.05; 3 - 0.1.

Рис. 5. Распределения линий равного уровня (изолиний) температуры, концентраций кислорода и летучих горючих продуктов пиролиза. (а) - зависимость от влагосодержания ЛГМ; б) - зависимость от запасов ЛГМ)

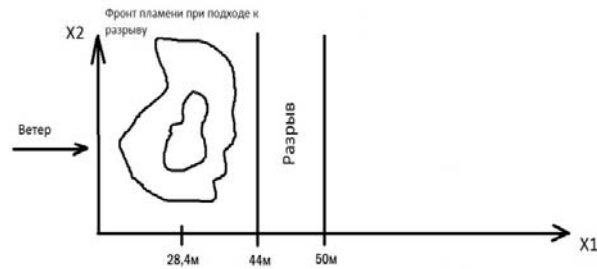
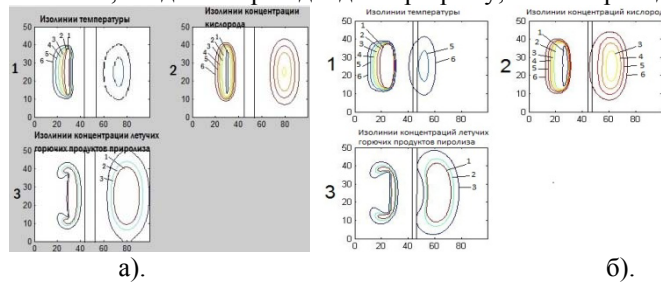


Схема 2. Схема, когда пожар подходит к разрыву, но не переходит через него



Изотермы газовой фазы  $\bar{T}$  ( $\bar{T} = T/T_e, T_e = 300K$ ): 1- 1.5; 2 - 2; 3 - 2.6; 4 - 3; 5 - 3.5; 6 - 4.

Изолинии концентрации кислорода ( $\bar{c}_1 = c_1/c_{1e}, c_{1e} = 0.23$ ):  
 1 - 0.1; 2 - 0.5; 3 - 0.6; 4 - 0.7; 5 - 0.8; 6 - 0.9.

Изолинии концентрации продуктов пиролиза ( $\bar{c}_2 = c_2/c_{1e}, c_{1e} = 0.23$ ): 1 - 0.01; 2 - 0.05; 3 - 0.1.

Рис. 6. Распределения линий равного уровня (изолиний) температуры, концентраций кислорода и летучих горючих продуктов пиролиза. (а) - зависимость от влагосодержания ЛГМ; б) - зависимость от запасов ЛГМ)

Следовательно, с помощью данной математической модели можно получить критические условия распространения верхового лесного пожара при заданных размерах разрыва, иначе говоря, зависимость скорости распространения от скорости ветра, влагосодержания лесных горючих материалов (ЛГМ) и их запасов, что, в свою очередь, дает возможность применять такой метод расчетов для профилактики и разработки новых методик профилактики и борьбы с верховыми лесными пожарами.

При увеличении скорости распространения верхового лесного пожара происходит уменьшение влагосодержания лесных горючих материалов. И соответственно, если увеличивается скорость ветра (скорость движения воздушных масс), то скорость распространения верхового лесного пожара увеличивается. Кроме того, при увеличении скорости ветра необходимо увеличивать ширину разрыва, а меньшему запасу ЛГМ соответствует большая ширина разрыва.

Литература.

1. Гришин А.М., Грузин А.Д., Зверев В.Г. Математическая теория верховых лесных пожаров // Теплофизика лесных пожаров. - Новосибирск: ИТФ СО АН СССР. 1984. - С.38-75.
2. Щетинский Е.А. Тушение лесных пожаров: Пособие для лесных пожарных. Изд.3-е, перераб. и доп. – М.:ВНИИЛМ, 2002. 104 с.
3. Perminov V. Numerical Solution of Reynolds equations for Forest Fire Spread // Lecture Notes in Computer Science. - 2002. -V.2329. -P.823-832.
4. Патанкар С.В. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 152 с.

#### **ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ РИСКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА КНР И РОССИИ**

*Т.А. Погорелая, к.э.н., доц., И.В. Клименко, И. Е. Бобер, ст. гр. ЭАб-131  
Кузбасский Технический Университет им. Т.Ф. Горбачева, г. Кемерово  
650099, г. Кемерово, ул. Дзержинского 9, тел: (384-2)-39-69-36  
E-mail: t.pogorelaya@mail.ru*

Национальными приоритетами для КНР и РФ являются обеспечение условий стабильного развития экономики, выявление основных источников ресурсов и подготовка фундамента устойчивых партнерских связей. Нестабильность на мировом рынке объективно усиливает необходимость динамичного расширения сферы экономического сотрудничества между странами, близкими по уровню развития, тем более, если их экономическое развитие зависит от импорта технологий. Поэтому *в качестве важного стратегического партнера на длительную перспективу Россия видит КНР*. Условия двустороннего инвестиционного взаимодействия КНР и РФ, главные его проблемы, способы интенсификации и перспективы, находятся под пристальным вниманием аналитиков. На данный момент создана необходимая административная база для развития двусторонних экономических отношений России и Китая, в том числе в форме взаимного движения капитала (Договор о добрососедстве, дружбе и сотрудничестве между Российской Федерацией и Китайской Народной Республикой; План действий по реализации положений Договора, «Программы сотрудничества между регионами Дальнего Востока и Восточной Сибири Российской Федерации и Северо-Востока Китайской Народной Республики» на 2009-2018 гг., Меморандум между Правительством Российской Федерации и Правительством Китайской Народной Республики о сотрудничестве в области модернизации экономики). Развитие нормативно-правовой основы сотрудничества предопределяется действием механизма регулярных встреч глав правительств, на которых определяются приоритеты развития экономических связей.

Министр коммерции КНР Гао Хучэн выступая на Российско-китайской инвестиционной конференции 15.04.2013 г. подчеркнул, что «в течение последних десяти лет Китай сохранял более 40%ные темпы среднегодового роста инвестиций в нефинансовые отрасли России и, таким образом, Россия стала одной из крупнейших стран по темпам роста привлеченных инвестиций из Китая». По словам министра, принятые российским правительством активные меры предоставили широкое пространство для увеличения китайско-российского инвестиционного сотрудничества [9].