

ВОЗДЕЙСТВИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И ВРЕДНЫХ ГАЗОВ НА ЛЕСНОГО ПОЖАРНОГО

S.N. Orlovsky, Yu.T. Tsay

TEMPERATURE AND HARMFUL GASES INFLUENCE ON THE FOREST FIREFIGHTER

Орловский С.Н. – канд. техн. наук, доц. каф. безопасности жизнедеятельности Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: orlovskiysergey@mail.ru

Цай Ю.Т. – канд. техн. наук, доц. каф. безопасности жизнедеятельности Сибирского государственного технологического университета, г. Красноярск. E-mail: tsau.dim@mail.ru

Orlovsky S.N. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Health and Safety, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: orlovskiysergey@mail.ru

Tsay Yu.T. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Health and Safety, Siberian State Technological University, Krasnoyarsk. E-mail: tsau .dim@mail.ru

Ежегодно на тушении лесных пожаров участвуют сотни специалистов лесной охраны. Теоретическое и экспериментальное изучение влияния негативных факторов лесных пожаров на пожарных на различных расстояниях от кромки очага горения позволит разработать основные требования к средствам их защиты. При этом необходимо определить опасные факторы, воздействующие на лесных пожарных, измерить температуру поверхности их одежды на различных расстояниях от кромки лесного пожара, а также исследовать состав продуктов пиролиза. При тушении лесных пожаров, когда огонь охватывает кроны деревьев, на человека воздействует температура выше 100 градусов, и концентрация угарного газа превышает предельно допустимые значения. Наиболее токсичным компонентом летучих веществ, образующихся при пиролизе лесных горючих материалов, является угарный газ. Авторами проводилось изучение воздействия опасных факторов лесного пожара на организм человека, работающего на кромке пожара при основных видах лесопожарных работ. На основании проведенных исследований определена температура поверхности одежды лесного пожарного в рабочей зоне. Также были проведены замеры содержания концентрации угарного газа в зоне горения на различных расстояниях от пламени. В результате проведенных исследований получены значения температуры и концентрации угарного газа в рабочей зоне лесного пожарного. Опре-

делены математические зависимости изменения его содержания на различных расстояниях от кромки пожара. Эти данные позволяют разработать основные требования к средствам защиты лесных пожарных, повысить безопасность и эффективность их работы.

Ключевые слова: лесные пожары, опасные факторы, температура, газы, защита.

Annually on the suppression of forest fires hundreds of experts of forest protection participate. Theoretical and experimental studying of influence of negative factors of forest fires on firefighters at various distances from an edge of the center of burning will allow developing the main requirements to the means of their protection. Thus it is necessary to define dangerous factors influencing forest firefighters to take temperature to a surface of their clothes at various distances from an edge of forest fire, and also to investigate structure of products of pyrolysis. At suppression of forest fires when fire covers crowns, the person is influenced by temperature over 100 degrees Centigrade and concentration of carbon monoxide exceeds maximum permissible values. The most toxic component of the volatiles formed at pyrolysis of forest combustible materials is carbon monoxide. The authors carried out studying of impact of dangerous factors of the forest fire on a human body working at a fire edge at main types of forest fire works. On the basis of the conducted researches the temperature of the surface of clothes of the forest firefighter in a work-

ing zone was determined. Also measurements of the maintenance of concentration of carbon monoxide in a burning zone at various distances from a flame were carried out. As a result of the conducted researches values of temperature and concentration of carbon monoxide in a working zone of the forest firefighter were received. Mathematical dependencies of change of its contents at various distances from a fire edge were defined. These data allow developing the main requirements to means of protection of forest firefighters, to increase safety and efficiency of their work.

Keywords: forest fires, dangerous factors, temperature, gases, protection.

Введение. Ежегодно лесные пожары охватывают большую территорию России. Так, в 2001 г. в лесах Российской Федерации возникло около 16,5 тыс. лесных пожаров. На тушении и локализации лесных пожаров участвуют сотни специалистов лесной охраны, а также людей, привлечённых из других сфер деятельности.

Цель исследований. Теоретическое и экспериментальное изучение влияния продуктов горения лесных горючих материалов на лесных

пожарных на различных расстояниях от кромки очага горения, что позволит разработать основные требования к средствам защиты лесных пожарных, повысить безопасность и эффективность их работы.

При этом необходимо решить следующие задачи:

1. Определить опасные факторы, воздействующие на лесных пожарных.

2. Измерить температуру поверхности одежды лесных пожарных на различной высоте от поверхности земли и расстоянии от кромки лесного пожара.

3. Исследовать состав продуктов пиролиза в зоне горения кромки лесного пожара для различных групп типов леса на различных расстояниях от пламени.

При тушении лесного пожара на человека действуют опасные факторы, которые по своей природе можно разделить на три группы: физико-химические, психофизические и биологические [Цай, 2007; Орловский, 2016]. Опасные факторы лесного пожара и их воздействие на человека представлены на рисунке 1.

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ:

повышенная запылённость, задымлённость (угарный газ, углекислый газ), повышенная температура воздуха, горящие частицы ЛГМ, световое и тепловое излучение

ПСИХОФИЗИЧЕСКИЕ:

нервно-психологические и физические перегрузки

БИОЛОГИЧЕСКИЕ:

комары, клещи, мошка



Рис. 1. Опасные факторы лесного пожара и их воздействия на человека

К физико-химическим можно отнести: повышенную температуру воздуха и тепловое излучение, наличие в дыме угарного и углекислого газов, горящих частиц лесных горючих материалов. К психофизическим – нервно-психологические и физические нагрузки. К биологическим – наличие в рабочей зоне кровососущих насекомых, способных вызывать кожные аллер-

гические реакции, зуд и являющихся переносчиками таких заболеваний, как клещевой энцефалит, малярия. При прямом тушении низовых лесных пожаров на человека воздействуют огонь, дым, повышенная температура окружающей среды, искры и шум. При тушении крупных лесных пожаров, когда огонь охватывает кроны деревьев, на человека воздействует

температура выше +100 °С, концентрация угарного газа превышает предельно допустимые значения. Пребывание в таких условиях в течение нескольких минут отрицательно действует на человека и приводит к ожогам дыхательных путей, отёку легких, ожогам лица и других участков кожного покрова. Тепловой удар, удушающее воздействие дыма и угарного газа являются зачастую причиной травм людей, занятых на тушении лесных пожаров; снижения работоспособности, ухудшения самочувствия, здоровья, нередко гибели.

Токсичные газы, образующиеся при горении, оказывают отравляющее действие на организм человека. Наиболее токсичным компонентом летучих веществ, образующихся при пиролизе лесных горючих материалов (ЛГМ), является монооксид углерода (угарный газ). Угарный газ образуется как продукт неполного сгорания лесных горючих материалов вследствие недостатка кислорода и обнаруживается в больших или меньших концентрациях в дымах, выделяющихся при горении. Опасность угарного газа заключается в том, что он не имеет ни цвета, ни запаха.

При попадании в организм человека он вступает в достаточно стойкое соединение с гемоглобином крови. Сродство угарного газа с гемоглобином приблизительно в 250–300 раз выше, чем у кислорода. Таким образом, связывая гемоглобин, он препятствует транспортировке кислорода к клеткам организма, вследствие чего наступает фактическое удушье от его недостатка. Если вдыхаемый воздух содержит только 0,07 % (0,7 мг/л) окиси углерода, то умножив 0,07 на 300 (сродство гемоглобина с СО), получим 21 – число, отвечающее концентрации кислорода в воздухе, при котором такое же количество СО, как и кислорода, будет связано с гемоглобином.

Это означает, что только половина гемогло-

бина крови будет способна переносить кислород. В состоянии покоя вызванные этим нарушением явления не столь выражены, однако при повышении потребности в кислороде (увеличение двигательной активности, активная физическая работа) недостаток свободного гемоглобина становится ощутимым. Избыточное давление внутри пламени способствует проникновению продуктов термолитиза ЛГМ (в основном угарного газа) в вентилируемые и негерметичные укрытия типа землянок, блиндажей и т.п. Это, создает опасность находящимся там людям. Установлено [Вредные..., 1984; Гигиенические..., 2000], что при содержании окиси углерода (угарного газа) в воздухе 0,1 % пребывание человека в этой атмосфере в течение 45 минут вызывает слабое отравление и появляется легкая головная боль, тошнота головокружение. При пребывании в течение 45 минут в воздухе с содержанием 0,15–0,2 % окиси углерода наступает опасное отравление, и человек теряет способность двигаться. При содержании СО в воздухе 0,5 % сильное отравление наступает через 15 минут, а при содержании 1 % человек теряет сознание, и через 1–2 минуты может наступить смертельное отравление.

На лесном пожаре каждый килограмм ЛГМ при тепловом разложении на газы и зольный остаток выделяет около 400 мг угарного газа. При этом внутри пламени его концентрация достигает 250–300 мг/л. Поскольку этот газ в пламени сгорает не полностью, над пламенем его концентрация составляет 25–30 мг/л, а у поверхности земли перед зоной горения – 0,7–2,0 мг/л. При прохождении низового пожара над землянкой или другим негерметичным укрытием концентрация угарного газа в нем составляет 0,2–0,5 мг/л [Цай, 2007]. Длительность работы при различных ПДК угарного газа в воздухе рабочей зоны представлена в таблице 1.

Таблица 1

Продолжительность работы при различных ПДК окиси углерода в воздухе рабочей зоны

Предельно допустимые концентрации СО в воздухе, мг/м ³	Продолжительность работы
До 20	Не ограничено
До 50	Не более 1 часа
До 100	Не более 30 минут

До 200	Не более 15 минут
--------	-------------------

Концентрация же его, равная 160–200 мг/м³, при вдыхании в течение 5–10 мин может оказаться смертельной. Наступающие вследствие нарушения обмена веществ изменения в организме человека происходят не из-за уменьшения содержания кислорода в крови, а в результате обогащения ее углекислым газом. Типичная смерть от удушья является результатом отравления углекислым газом, а не следствием недостатка в воздухе кислорода. Известно, что углекислый газ – менее токсичное соединение, содержание его в воздухе от 12,1 до 38,2 мг/м³ вызывает раздражение глаз и верхних дыхательных путей. Продолжительность работы при такой концентрации СО₂ допускается не более 1 ч [Гигиенические..., 2000].

Результаты и их обсуждение. Авторами при работе во ВНИИПОМлесхозе проводилось изучение воздействия опасных факторов лесного пожара на организм человека, работающего на кромке пожара при основных видах лесопожарных работ [Цай, 2007; Главацкий, 2001]. Экспериментальные исследования по определению опасных и вредных факторов лесного пожара выполнялись в конце мая – начале июня 2001–2002 гг. в Мининском лесхозе.

На опытных участках проводили зажигание напочвенных горючих материалов в следующих группах типов леса: сосняки мертвопокровных и березняки разнотравных. Замеры проводились

с высотой пламени лесного пожара 0–0,25 м и 0,25–0,50 м. Температура окружающей среды (воздуха) составляла 24–30°С, влажность воздуха колебалась от 65 до 90 %, скорость ветра изменялась от 0,15 до 4 м/с. Температуру поверхности одежды измеряли на пожарном на высоте от поверхности земли 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 м и на расстоянии от кромки лесного пожара 0–2 м. Для замера температуры поверхности использовали инфракрасный термометр «Raynger» (производство США) с пределом измерения от 0 до 199,9 °С и погрешностью измерений 0,1°С.

На основании проведенных исследований [Главацкий, 2001; Цай, 2007] определена температура поверхности одежды лесного пожарного в рабочей зоне в двух типах леса с высотой пламени 0–0,25; 0,25–0,50 м. Средние значения температуры поверхности одежды лесного пожарного приведены в таблице 2.

При увеличении высоты пламени лесного пожара на 0,25 м температура поверхности повысилась от 43,3 до 53,1°С; на высоте 1,0 м – от 41,1 до 46,4°С; на высоте 1,5 м – от 32,5 до 37,7°С. Наибольшая температура поверхности одежды лесного пожарного на высоте 0,5 м от земли составляла от 42,7 до 53,1°С. Это говорит о том, что при разработке индивидуальных средств защиты, а именно костюма лесного пожарного, необходимо на брюках предусмотреть дополнительную защиту ног [Цай, 2001].

Таблица 2

Температура поверхности одежды в рабочей зоне на различной высоте от земли при низкой интенсивности горения кромки пожара в различных типах леса

Вид лесного пожара	Высота пламени пожара, м	Группа типов леса	Средние температуры поверхности одежды пожарного в рабочей зоне на различной высоте (м), °С			
			0,5	1,0	1,5	2,0
Низовой	0-0,25	Сосняк мертвопокровный	42,7	37,9	35,6	31,3
		Березняк разнотравный	43,3	41,1	36,4	32,5
	0,25-0,50	Сосняк мертвопокровный	50,0	43,0	39,1	37,7
		Березняк разнотравный	53,1	46,4	42,8	37,7

Для измерения концентрации вредных газов и кислорода в зоне горения кромки лесного пожара использовался газоанализатор «АНКАТ»-7664-01. Переносной газоанализатор предназначен для непрерывного автоматического контроля содержания окиси углерода (CO), кислорода (O₂), метана (CH₄) в зоне проведения работ.

В ходе исследований были проведены замеры содержания концентрации угарного газа в зоне горения кромки лесного пожара в мертвопокровных группах леса на различных расстояниях от пламени при высоте кромки пожара 0–0,25 м. При обработке экспериментальных дан-

ных было установлено, что содержание угарного газа на расстоянии от кромки пожара 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 м изменяется в соответствии с математическими зависимостями (1)–(4):

$$y_1 = 1,87x^2 - 64,21x + 140,53; \quad (1)$$

$$y_2 = 18,5x^2 - 98,3x + 144,44; \quad (2)$$

$$y_3 = 12x^2 - 65,77x + 130,21; \quad (3)$$

$$y_4 = -9,57x^2 - 12,5x + 103,89. \quad (4)$$

Изменение содержания угарного газа в рабочей зоне лесного пожарного на различной высоте от поверхности земли при высоте пламени 0–0,25 м приведено на рисунке 2.

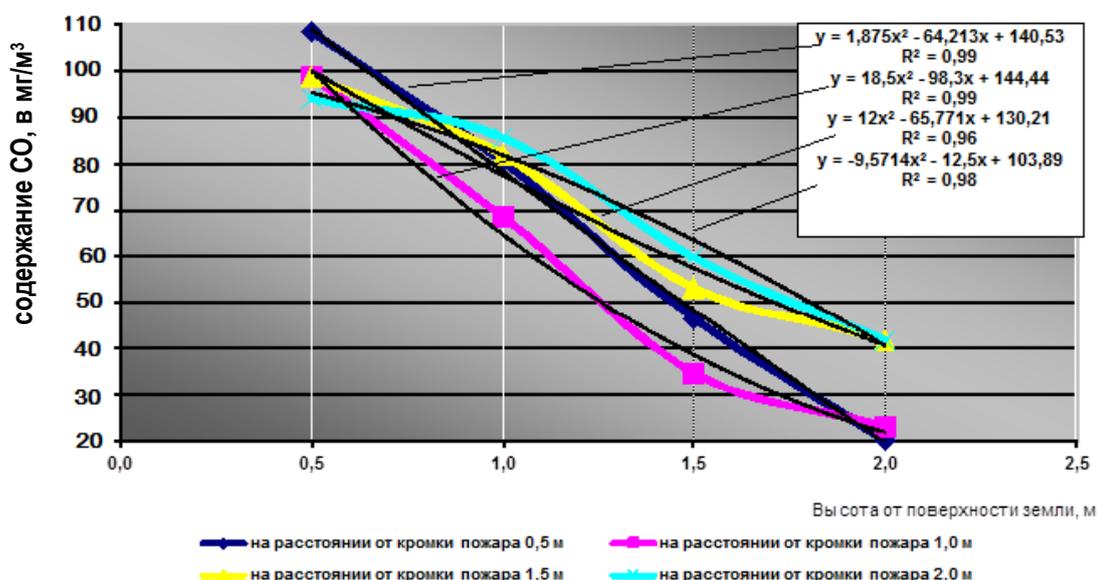


Рис. 2. Изменение содержания CO в рабочей зоне лесного пожарного при высоте пламени пожара 0–0,25 м

Экспериментальные и теоретические данные замеров хорошо согласуются между собой, коэффициент корреляции составляет 0,96–0,98.

Содержание угарного газа на расстоянии от пожара 0,5; 1,0; 1,5; 2,0 м при высоте кромки 0,25–0,50 м изменяется в соответствии с зависимостями (5)–(8):

$$y_1 = 39,67x^2 - 205,1x + 261,86; \quad (5)$$

$$y_2 = 75,78x^2 - 304,02x + 358,56; \quad (6)$$

$$y_3 = 12,78x^2 - 115,17x + 227,19; \quad (7)$$

$$y_4 = -12,2x^2 - 4,34x + 110,25. \quad (8)$$

Изменение содержания угарного газа в рабочей зоне лесного пожарного на различной высоте земли при высоте пламени 0,25–0,50 м приведено на рисунке 3.

Экспериментальные и теоретические данные хорошо согласуются между собой, коэффициент корреляции составляет 0,97–0,99. Средние значения содержания угарного газа в рабочей зоне лесного пожарного на высоте от поверхности земли 0,5–2,0 м приведены в таблице 3.

При увеличении высоты пламени лесного пожара на 0,25 м содержание угарного газа повышается. На высоте 0,5 м содержание угарно-

го газа изменялось от 99,0 до 183,0 мг/м³; на высоте 1,0 м – от 82,0 до 128,0 мг/м³; на высоте 1,5 м – 48,0 до 80,0 мг/м³; на высоте 2,0 м – от 42,0 до 49,0 мг/м³. Наибольшая концентрация угарного газа содержится на высоте 0,5 м от земли и составляет от 99,0 до 183,0 мг/м³. Данные таблицы показывают, что в рабочей зоне при тушении низового пожара, где задымлен-

ность большая, содержание угарного газа выше допустимых значений (более 20 мг/м³). Это говорит о том, что при тушении лесного пожара, где концентрация угарного газа выше предельно допустимых значений, необходимо использовать средства для защиты органов дыхания от вредных газов.

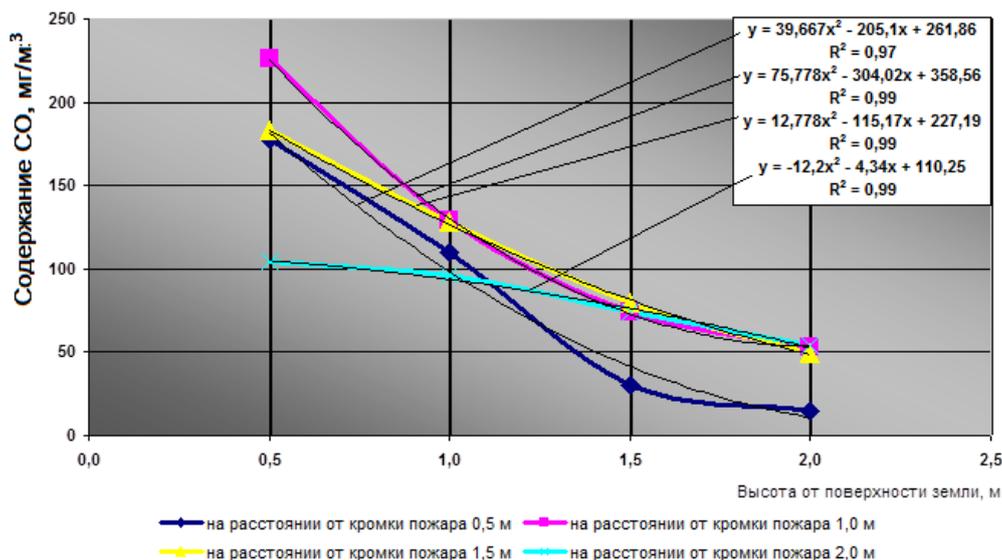


Рис. 3. Изменение содержания CO в рабочей зоне лесного пожарного при высоте пламени пожара 0,25–0,50 м

Таблица 3

Содержание угарного газа в рабочей зоне лесного пожарного

Вид лесного пожара	Группа типов леса	Высота пламени лесного пожара, м	Средние значения угарного газа в рабочей зоне на различной высоте (м), мг/м ³			
			0,5	1,0	1,5	2,0
Низовой	Сосняк мертвопокровный	0-0,25	99,0	82,0	48,0	42,0
		0,25-0,50	183,0	128,0	80,0	49,0

Выводы. В результате исследований получены значения температуры и угарного газа в рабочей зоне лесного пожарного, определены математические зависимости изменения содержания угарного газа на различных расстояниях от пламени горения кромки. Эти данные позволяют разработать основные требования к средствам защиты лесных пожарных, повысить безопасность и эффективность работы.

Литература

1. Цай Ю.Т. Система мероприятий безопасности жизнедеятельности лесных пожарных. – Красноярск: Платина, 2007. – 358 с.
2. Главацкий Г.Д., Цай Ю.Т. Воздействие температуры на людей, работающих на тушении лесных пожаров // Вестник СибГТУ. – 2001. – № 1. – С. 132–137.
3. Орловский С.Н. Борьба с лесными, степными и торфяными пожарами. LAMBERT Academic Publishing. – ФРГ, 2016. – 493 с.
4. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности ГОСТ

- 12.1.007-76. – М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1984. – 5 с.
5. Гигиенические критерии оценки и классификации условий труда по показателям вредности и опасности факторов производственной среды, тяжести и напряжённости трудового процесса. – М.: Апрохим, 2000. – 162 с.
 6. *Цай Ю.Т.* Костюм лесного пожарного: испытание ткани с огнезащитными свойствами // Лесное хозяйство. – 2001. – № 6. – С. 41–43.
 3. *Orlovskij S.N.* Bor'ba s lesnymi, stepnymi i torfjanymi pozharemi. LAMBERT Academic Publishing. – FRG, 2016. – 493 s.
 4. Vrednye veshhestva. Klassifikacija i obshhie trebovanija bezopasnosti GOST 12.1.007-76. – М.: Gos. komitet SSSR po standartam, 1984. – 5 s.
 5. Gigienicheskie kriterii ocenki i klassifikacii uslovij truda po pokazateljam vrednosti i opasnosti faktorov proizvodstvennoj sredy, tjazhesti i naprjazhjonnosti trudovogo processa. – М.: Aprohim, 2000. – 162 s.
 6. *Caj Ju.T.* Kostjum lesnogo pozharnogo: ispytanie tkani s ogneshhitnymi svojstvami // Lesnoe hozjajstvo. – 2001. – № 6. – S. 41–43.

Literatura

1. *Caj Ju.T.* Sistema meroprijatij bezopasnosti zhiznedejatel'nosti lesnyh pozharnyh. – Krasnojarsk: Platina, 2007. – 358 s.
2. *Glavackij G.D., Caj Ju.T.* Vozdejstvie temperatury na ljudej, rabotaju-shhih na



УДК 625.096/036:678.492.1

*Р.Т. Емельянов, А.П. Прокопьев,
Л.В. Скурихин, Н.А. Сафаров*

УПРАВЛЕНИЕ ШАГОВЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

*R.T. Yemelyanov, A.P. Prokopyev,
L.V. Skurikhin, N.A. Safarov*

STEPPING MOTOR OPERATION

Емельянов Р.Т. – д-р техн. наук, проф. каф. инженерных систем зданий и сооружений Инженерно-строительного института Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: ert-44@yandex.ru

Прокопьев А.П. – канд. техн. наук, доц. каф. инженерных систем зданий и сооружений Инженерно-строительного института Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail: prok1@yandex.ru

Скурихин Л.В. – асп. каф. автомобильных дорог и городских сооружений Инженерно-строительного института Сибирского федерального университета, г. Красноярск. E-mail:

Yemelyanov R.T. – Dr. Techn. Sci., Prof., Chair of Engineering Systems of Buildings and Constructions, Construction Institute, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: ert-44@yandex.ru

Prokopyev A.P. – Cand. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Engineering Systems of Buildings and Constructions, Construction Institute, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: prok1@yandex.ru

Skurikhin L.V. – Post-Graduate Student, Chair of Highways and City Constructions, Construction Institute, Siberian Federal University, Krasnoyarsk. E-mail: lioon@mail.ru