

## УДК 536.629.454

**Братута Едуард Георгійович**, д-р техн. наук, проф., професор кафедри теплоенергетики та енергоефективних технологій. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна. вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002. тел. (057)7076923. E-mail: [beg@kpi.kharkov.ua](mailto:beg@kpi.kharkov.ua)

**Сетюков Віталій Борисович**, провідний спеціаліст, ВАТ «КАДМ», м. Харків, Україна. вул. Чичібабіна, 9, під. 11, м. Харків, Україна, 61022. тел. (057) 705-48-87. E-mail: [firmakadm@rambler.ru](mailto:firmakadm@rambler.ru)

**Гарева Дар'я Олексіївна**, магістр, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна. вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002. тел. (057)7076923. E-mail: [dashagareva@mail.ua](mailto:dashagareva@mail.ua)

**Нікітчук Микола Сергійович**, магістр, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна. вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002. тел. (057)7076923. E-mail: [predstud@mail.ru](mailto:predstud@mail.ru)

### ДО МЕТОДИКИ ПАРАМЕТРИЧНОЇ ДІАГНОСТИКИ КОНДИЦІОНЕРУ КАБІНИ МАШИНІСТА ЛОКОМОТИВУ

*Запропоновано методику випробувань транспортних кондиціонерів для кабіни машиніста локомотиву, яка дозволила за рахунок вимірювання витрати конденсату з випарника холодильної машини забезпечити більш точну технічну діагностику продуктивності по витраті повітря і холоду, порівняно з методикою, що відповідає Міждержавному стандарту.*

**Ключові слова:** кондиціонер кабіни локомотиву, експериментальні випробовування, оцінка похибок експерименту.

## УДК 536.629.454

**Братута Эдуард Георгиевич**, д-р техн. наук, проф., профессор кафедры теплоэнергетики и энергоэффективных технологий. Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина. ул. Фрунзе, 21, м. Харьков, Украина, 61002. тел. (057)7076923. E-mail: [beg@kpi.kharkov.ua](mailto:beg@kpi.kharkov.ua)

**Сетюков Виталий Борисович**, ведущий специалист, ООО «КАДМ», г. Харьков, Украина. ул. Чичибабина, 9, под. 11, г. Харьков, Украина, 61022. тел. (057) 705-48-87. E-mail: [firmakadm@rambler.ru](mailto:firmakadm@rambler.ru)

**Гарева Дарья Алексеевна**, магистр, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина. ул. Фрунзе, 21, м. Харьков, Украина, 61002. тел. (057)7076923. E-mail: [dashagareva@mail.ua](mailto:dashagareva@mail.ua)

**Никитчук Николай Сергеевич**, магистр, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, Украина. ул. Фрунзе, 21, м. Харьков, Украина, 61002. тел. (057)7076923. E-mail: [predstud@mail.ru](mailto:predstud@mail.ru)

### К МЕТОДИКЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ КОНДИЦИОНЕРА КАБИНЫ МАШИНИСТА ЛОКОМОТИВА

*Предложена методика испытаний транспортных кондиционеров для кабины машиниста локомотива, позволяющая путем измерения расхода конденсата с испарителя холодильной машины обеспечить более точную техническую диагностику производительности по расходу воздуха и холоду сравнительно с методикой, соответствующей Межгосударственному стандарту.*

**Ключевые слова:** кондиционер кабины локомотива, экспериментальные исследования, оценка погрешностей эксперимента.

## UDK 536.629.454

**Bratuta Eduard Georgievich**, Dr. Eng. Sc., Prof., Professor of heat power engineering and energy efficiency technology chair. National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, Ukraine. Str. Frunze, 21, Kharkov, Ukraine, 61002. tel. (057)7076923. E-mail: [beg@kpi.kharkov.ua](mailto:beg@kpi.kharkov.ua)

**Setiukov Vitaliy Borisovich**, leading specialist, CADM OOO, Kharkov, Ukraine. Str. Chichibabina, 9, entr.11, Kharkov, Ukraine, 61022. tel. (057) 705-48-87. E-mail: [firmakadm@rambler.ru](mailto:firmakadm@rambler.ru)

**Gareva Dar'ya Alekseevna**, MA, National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, Ukraine. Str. Frunze, 21, Kharkov, Ukraine, 61002. tel. (057)7076923. E-mail: [dashagareva@mail.ua](mailto:dashagareva@mail.ua)

**Nikitchuk Nikolay Sergeevich**, MA, National Technical University "Kharkov Polytechnic Institute", Kharkov, Ukraine. Str. Frunze, 21, Kharkov, Ukraine, 61002. tel. (057)7076923. E-mail: [predstud@mail.ru](mailto:predstud@mail.ru)

### PARAMETRIC DIAGNOSTIC METHOD OF AIR-CONDITIONER IN THE LOCOMOTIVE DRIVER'S CABIN

*For minimizing errors in the process of technical diagnostics of packaged air conditioners with vapour compression refrigerating machine the new method of air conditioner experimental efficiency test of air and its*

efficiency is proposed.

Nowadays according to the standards of carrying out tests, they are carried out using the pneumometric method of air consumption estimation. It is known, that design formula for air consumption estimation includes discharge coefficient, expansion coefficient and correcting coefficient for the location of flow meter, their purpose as well as peculiarities of pneumometric method themselves are related with a number of errors, which are inherent in this method and which sometimes reach 10-12 %.

In this situation air conditioner either is unable to cope with excess of water and heat elimination for maintenance of comfortable conditions, or its capacity is excess for the given driver's cabin and climatic conditions.

Thereby the method, according to which the mass flow measurements of condensate from the evaporator surface by carrying out the same air parameter measurement, which are prescribed by the standard, allow to exclude the use of pneumometric method, is proposed in the work. The specification of diagnostics is basically caused by the fact that air flow measurement by weight method can be carried out by means of electronic scales with an accuracy of 1g by general condensate flow not more than 1kg per minute.

**Keywords:** locomotive cabin conditioner, experimental investigations, experimental error estimation.

### Введение

Проблема создания стабильных комфортных условий труда при обеспечении так называемого перевозочного процесса является одной из ключевых для железнодорожного транспорта. Тенденции его развития, связанные с повышением скорости его движения, надежности и безаварийности эксплуатации, обусловили повышение ответственности и интенсивности работы локомотивных бригад.

Профессия машиниста локомотива относится к группе профессий операторского типа, что с физиологической точки зрения характеризуется выраженным нервно-эмоциональным напряжением и в то же время малоподвижностью, что требует высокого уровня комфортности.

Результаты многочисленных испытаний в реальных условиях эксплуатации [1–3], проведенных рядом НИИ и заводами-изготовителями локомотивов, показали, что температура и относительная влажность воздуха в сочетании с температурой внутренних ограждений кабины не всегда соответствуют требованиям, предъявляемым к микроклимату на рабочем месте машиниста. Данные лабораторных исследований и натурных испытаний, полученные в расчетных климатических условиях [3], показывают, что в большинстве случаев микроклимат в кабине не отвечает предъявляемым требованиям в полном объеме. Это связано с тем, что в подобных условиях терморегуляторные функции машиниста испытывают значительное напряжение, что влияет на постоянстве его внутренней среды, оказывая отрицательное воздействие на здоровье в целом. Высокий уровень заболеваний органов дыхания локомотивных бригад [4] является тому подтверждением.

В связи с этим поддержание гарантировано стабильного микроклимата в кабине машиниста выдвигает повышенные требования к качеству работы кондиционеров, в основном определяемому на основании соответствующей методики их тестовых испытаний. Вместе с тем, как будет показано ниже, принятая в настоящее время методика (ГОСТ 30344-96. Кондиционеры транспортные. Методы испытаний) не в полной мере соответствует обеспечению минимальных погрешностей при проведении лабораторных испытаний кондиционеров. Это, с учетом особенностей эксплуатации агрегатов в реальных условиях, может привести к нежелательным отклонениям в обеспечении комфорта машиниста.

**Целью работы** является создание методики испытания кондиционера, обеспечивающей более точную его параметрическую диагностику.

### Основная часть

На рис. 1 представлена общая схема испытательного стенда для тестирования кондиционера кабины локомотива, выполненного в соответствии с Международным стандартом (ГОСТ 30344-96) по испытаниям транспортных кондиционеров.

При установленном тепловом режиме производятся измерения:

- разности давлений в расходомере  $P_c$ , установленном в коллекторе 8, где в качестве измерительного элемента используется двухканальная трубка Пито;
- разность давлений  $P_m$  за вентилятором 15 и перед ним;
- температуры по «сухому»  $t_{c1}$  и «мокрому»  $t_{m1}$  термометрам на входе в испаритель;

- температуры по «сухому»  $t_{c2}$  и «мокрому»  $t_{m2}$  термометрам на выходе из кондиционера;
- температура окружающего воздуха  $t_{к1}$  в камере 3.

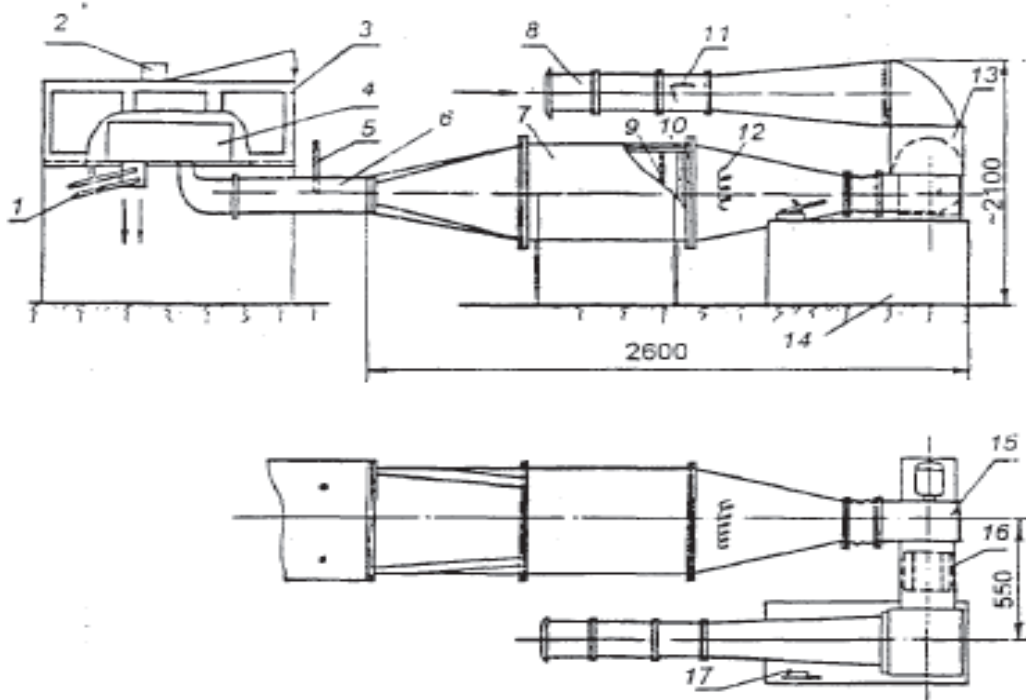


Рис. 1. Универсальный стенд для испытаний транспортных кондиционеров: 1 – «сухой» и «мокрый» термометры на выходе из кондиционера; 2 – привод; 3 – камера; 4 – кондиционер; 5 – «сухой» и «мокрый» термометры на входе в кондиционер; 6 – воздуховод; 7 – камера разряжения; 8 – измерительный коллектор; 9 – выравнивающая сетка; 10 – хонней-комбинированный; 11 – воздушная заслонка; 12 – узел вторичного подогрева воздуха; 13 – узел подогрева воздуха; 14 – стол; 15 – вентилятор; 16 – увлажнительное устройство; 17 – термометр

Объемная производительность по воздуху определяется по формуле,  $\text{м}^3/\text{с}$

$$Q_a = \alpha \varepsilon F_K \sqrt{\frac{2P_c}{\rho_a}} \varepsilon_{c1} \quad (1)$$

- где  $F_K$  – площадь коллектора;
- $\alpha$  – коэффициент расхода;
- $\varepsilon$  – коэффициент расширения;
- $\rho_a$  – плотность воздуха;
- $\varepsilon_c$  – поправочный коэффициент на расположение расходомера.

Производительность по холоду, кВт, определяется психрометрическим методом по формуле

$$Q_x = Q_a \rho_a (i_1 - i_2), \quad (2)$$

где  $i_1, i_2$  – энтальпии воздуха на входе и выходе из кондиционера, определяемые по  $i-d$  диаграмме в соответствии с температурами  $t_{c1}, t_{m1}, t_{c2}, t_{m2}$ .

Рекомендуемый стандартом перечень приборов, применяемых при теплотехнических испытаниях приведен в табл. 1.

Таблица 1

Перечень приборов для теплотехнических испытаниях кондиционеров

Наименование параметра измерений, диапазон измерения	Наименование средств измерения (приборов измерения)	Граница измерения	Цена деления	Класс точности, (погрешность)
Температура воздуха от 15 °С до 50 °С	Термометр ртутный ТЛ-4-4Б2	(0-55) °С	0,1 °С	±2 °С
Относительная влажность от 20 до 100 %	Психрометр аспирационный МВ-4М	(10-100) %	0,2 °С	±(1,1-11) % ±2 °С
Статическое давление от 0 до 100 Па	Микроманометр ММН-2400(5)-0,1	(0-2400) Па	2:4:6:8 Па	1,0
Масса конденсата	Весы лабораторные ТВЕ-2,1-0,01	(0-2000) г	–	±0,01 гр

Из приведенных формул (1) и (2) видно, что наименее точным является определение объемного расхода  $Q_a$ . Это обусловлено не только присущему пневмометрическому методу измерений [5] комплексу источников погрешностей, но и неточностями в назначении коэффициентов  $\alpha$ ,  $\varepsilon$  и  $\varepsilon_c$ . Кроме того, погрешность измерения  $Q_a$  определяется погрешностями измерения четырех величин:  $F_K$ ,  $P_c$ , температуры перед коллектором и барометрического давления для вычисления  $\rho_a$  из уравнения состояния воздуха.

Отмеченная особенность обусловила наше предположение, касающееся методики более точного определения объемной производительности кондиционера.

На рис. 2 представлено построение процессов изменения состояния воздуха в  $i-d$  диаграмме.

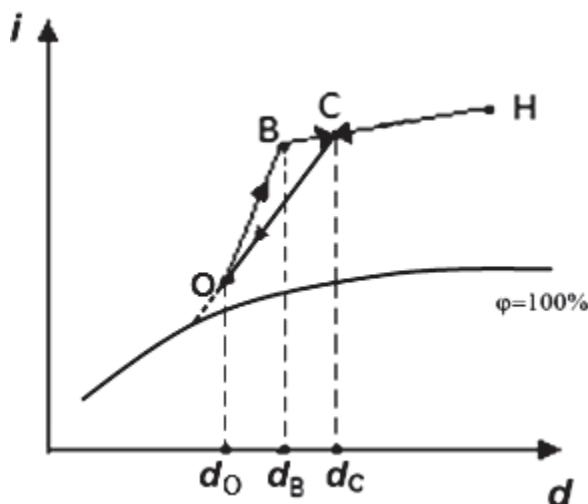


Рис. 2.  $i-d$  диаграмма процессов в кондиционере

Здесь В, Н и О – состояния внутреннего воздуха (в кабине машиниста), наружного воздуха (на входе в кондиционер) и приточного воздуха (на выходе из кондиционера) соответственно; С – точка состояния смеси наружного и рециркуляционного (внутреннего) воздуха.

В связи с этим объемную производительность кондиционера по воздуху можно вычислить как

$$Q'_a = \frac{W}{\rho_a(d_c - d_o) \cdot 10^{-3}}, \quad (3)$$

где  $W$  – массовый расход конденсата, стекающего с поверхности испарителя;  
 $\rho_a$  – плотность воздуха по состоянию на выходе из испарителя (точка О, рис. 2).

При этом с помощью электронных весов расход конденсата может быть найден с погрешностью, не превосходящей  $10^{-5}$ – $2 \cdot 10^{-5}$  кг.

Таким образом, измерение тех же величин  $t_{c1}$ ,  $t_{m1}$ ,  $t_{c2}$  и  $t_{m2}$ , предусмотренное стандартным методом и определяющих значения  $d_c$  и  $d_{п}$ , оказывается достаточным и исключает погрешности, сопряженные с использованием пневмометрического метода определения  $Q_a$ .

Найдя величину производительности кондиционера по воздуху как  $Q'_a = Q'_{ext} + Q'_{rec}$ , т. е. как сумму расходов наружного и рециркуляционного воздуха, по диаграмме из соотношения

$$Q'_{rec} = Q'_a \frac{HC}{HB} \quad (4)$$

вычисляется  $Q'_{rec}$  и далее  $Q'_{ext}$ .

В связи с более точным определением  $Q'_a$  определяется и более точная (сравнительно со стандартной методикой) холодопроизводительность кондиционера как

$$Q'_x = Q'_a \rho_a (i_c - i_a), \quad (5)$$

При этом в формулах (3) и (5) влагосодержание влажного воздуха и его энтальпия находятся расчетным путем (более точным, чем по  $i$ - $d$  диаграмме) в виде [5]

$$d = 0,623 \frac{\varphi P_s}{B - \varphi P_s}, \quad (6)$$

$$i = t_a + (r + 1,88 \cdot t_a) d, \quad (7)$$

где  $\varphi$  – относительная влажность воздуха (по психрометру);

$B$  – барометрическое давление;

$P_s$  – давление насыщенного пара при температуре воздуха  $t_a$ ;

$r$  – теплота парообразования при парциальном давлении пара, равном

$$P = P_s \varphi. \quad (8)$$

Как рекомендовано в стандарте, среднеквадратичная относительная погрешность измерения производительности по воздуху  $\sigma_{Q_a}$ , % вычисляется по формуле

$$\sigma_{Q_a} = \left[ \sigma_{\alpha}^2 + \sigma_{\varphi}^2 + \sigma_{F_K}^2 + \frac{1}{4} (\sigma_{P_a}^2 + \sigma_{P_s}^2) + \sigma_{\varphi_a}^2 \right]^{0,5}, \quad (9)$$

где  $\sigma_{\alpha}$ ,  $\sigma_{\varphi}$ ,  $\sigma_{F_K}$ ,  $\sigma_{P_a}$ ,  $\sigma_{P_s}$ ,  $\sigma_{\varphi_a}$  – погрешности измерения соответствующих величин, входящих в формулу (1), в %.

При этом

$$\sigma_{F_K} = 2\sigma_{d_K}, \quad (10)$$

где  $\sigma_{d_K}$  – погрешность измерения диаметра измерительного сечения  $d_K$ , %,

$$\sigma_{P_a} = \left( \sigma_{P_a}^2 + \sigma_R^2 + \sigma_{T_a}^2 \right)^{0,5}, \quad (11)$$

где  $\sigma_{P_a}$ ,  $\sigma_R$ ,  $\sigma_{T_a}$  – погрешности измерения соответственно атмосферного давления  $P_a$ ,



газовой постоянной  $R$  и температуры окружающей среды  $T_a$  (К), %.

$$\sigma_{T_a} = \left( \frac{t_a}{273 + t_a} \right) \sigma_{t_a}, \quad (12)$$

где  $\sigma_{t_a}$  – погрешность измерения температуры окружающей среды  $t_a$  (°C), %.

Величины  $\sigma_\alpha, \sigma_{t_a}, \sigma_{d_k}, \sigma_{P_a}, \sigma_{R_a}, \sigma_{\varepsilon_a}$  определяются по формуле

$$\sigma = \frac{50 \Delta X}{X}, \quad (13)$$

где 50 – коэффициент, определяющий доверительный интервал погрешности измерения параметра при доверительной вероятности  $P = 0,95$ ;

$\Delta X$  – абсолютная погрешность измерения параметра;  $X$  – измеренное значение параметра.

$$\sigma_{P_c} = \frac{0,5 S P_{\text{lim}}}{P_c}, \quad (14)$$

где 0,5 – коэффициент, определяющий доверительный интервал измерения параметра при доверительной вероятности  $P = 0,95$ ;

$S$  – класс точности микроманометра;

$P_{\text{lim}}$  – значение верхнего предела измерений микроманометра, Па;  $P_c$  – измеренное значение разности давлений в расходомере, Па.

Не останавливаясь столь же подробно на оценке средней квадратичной погрешности измерения производительности по холоду  $\sigma_{Q_x}$ , %, приводим лишь итоговую формулу, записанную в соответствие с формулой (2),

$$\sigma_{Q_x} = \left[ \sigma_{Q_x}^2 + \sigma_{P_a}^2 + \left( \frac{i_1}{i_1 - i_2} \right)^2 \sigma_{i_1}^2 + \left( \frac{i_2}{i_1 - i_2} \right)^2 \sigma_{i_2}^2 \right]^{0,5}, \quad (15)$$

где фигурируют соответствующие погрешности определения величин, характер которых ясен из индексов.

Сравнение формул (1) и (3), определяющих производительность кондиционера по воздуху, показывает, что в формуле (3) предлагаемой методики включает существенно меньшее число источников погрешности.

При этом среднюю квадратичную относительную погрешность измерения следует вычислять [6] как

$$\sigma_{Q'_a} = \left( \left( \frac{\Delta W}{W} \right)^2 + \sigma_{P_a}^2 + \sigma_{d_a}^2 \right)^{0,5}, \quad (16)$$

где  $\sigma_{P_a}$  находят с учетом (11) и (12).

Для конкретного сопоставления методик был использован ряд результатов, полученных в ходе физического эксперимента.

Объектом был кондиционер ККЛ с номинальной производительностью по воздуху 1000 м<sup>3</sup>/ч, холодопроизводительностью 5 кВт при различных имитируемых температурах и влажностях наружного воздуха. Использовался хладагент R134a. Температуры испарения и конденсации составляли интервал 4–6 °C и 50–60 °C.

Как уже было отмечено, измерение расхода конденсата производилось с использованием электронных весов, в которых фирма изготовительно гарантирует

абсолютную погрешность измерения, не превышающую 0,01 грамма.

Результаты сравнения показаны в табл. 2.

Таблица 2

Оценка погрешностей измерений

Погрешность	По стандартной методике			По предложенной методике			Разность погрешностей		
	Номера опытов								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
$\sigma_{Q_a}, \%$	7,3	7,9	7,6	4,1	4,3	3,9	3,2	3,6	3,7
$\sigma_{Q_x}, \%$	7,4	8,3	7,8	4,2	4,4	4,0	3,2	3,9	3,8

**Выводы**

1. Предложена и экспериментально апробирована методика уточненного определения производительности кондиционера по расходу воздуха и холоду.

2. Выполненное сравнение результатов испытаний (табл. 2) по двум рассмотренным методикам с соблюдением всех требований Межгосударственного стандарта, предъявляемым к методам испытаний транспортных кондиционеров, обнаружило возможность более точного определения основных характеристик путем измерения массового расхода конденсата с испарителя холодильной машины.

3. При соответствующей постановке эксперимента предложенная методика может быть использована для испытаний холодильной машины кондиционера с целью более обоснованной и точной параметризации холодильного цикла.

**Список использованной литературы**

1. Лосавио, Н. Г. Вопросы теплотехнического совершенствования кабин локомотивов и путевых машин [Текст] / Н. Г. Лосавио, Б. Й. Школьников, А. А. Дорфман // Медицина труда и промышленная экология. – 1995. – № 2. – С. 8–9.
2. Гольдман, Э.И. Кондиционирование воздуха в кабине машиниста [Текст] / Э.И. Гольдман, А.Ф. Глушков // Железнодорожный транспорт. – 1980. – №11. – С. 36-39.
3. Бушуйкин, Ю. Б. Кондиционирование воздуха в кабинах локомотивов [Текст] / Ю. Б. Бушуйкин. - Труды ВНИИЖГ. – Вып 411. – М.: Транспорт, 1970. – 81 с.
4. Кудрин, В. А. Охрана здоровья работников локомотивных бригад и обеспечение безопасности движения поездов на железных дорогах [Текст] / В. А. Кудрин, А. А. Прохоров; Всерос. НИИ ж.-д. гигиены. - М., 2000. - 107 с.
5. Преображенский, В. П. Теплотехнические измерения и приборы [Текст] / В. П. Преображенский. – М.: Энергия, 1978. – 704 с.
6. Кириллин, В. А. Техническая термодинамика [Текст] / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 416 с.

**Referencee**

1. Losavio, N. G., Shkolnikov, B. Y., Dorfman, A. A. (1995), “Questions of heat engineering enhancement of locomotive cabin and railway machines” [“Voprosy teplotekhnicheskogo sovershenstvovaniya kabin lokomotivov i putevykh mashin”], *Meditsyna truda i promyshlennaia ekologiya*, No.2, p.p 8–9.
2. Gol’dman, E. I., Glushkov, A. F. (1980), “Air conditioning at driver cabin” [Konditsionirovanie vozdukha v kabine mashinista], *Zheleznodorozhny transport*, No 11, p.p 36–39.
3. Bushuykin, Yu.,B. (1970), *Air conditioning at locomotive cabins* [Konditsionirovanie vozdukha v kabinakh lokomotivov], Transport, Moscow, 81 p.
4. Kudrin, V. A., Prokhorov, A. A. (2000), *Protection of locomotive crew workers health and providing of train moving safety on railways* [Okhrana zdorov’ia rabotnikov lokomotivnyh brigad i obespechenie bezopasnosti dvizhenia poezdov na zheleznnykh dorogakh], Moscow, 107 p.
5. Preobrazhensky, V. P. (1978), *Heat engineering measurements and instruments* [Teplotekhnicheskije izmereniya i pribory], Energia, Moscow, 704 p.
6. Kirillin, V. A., Sychev, V. V., Sheindlin, A. E. (1983), *Technical Thermodynamics* [Tekhnicheskaya termodinamika], Energoatomizdat, Moscow, 416 p.

Поступила в редакцию 02.06 2014 г.