

## Микроклимат кабины лесозаготовительной машины

### *A microclimate in the cabin of a harvesting machine*

Ю. К. Кукелев (U. Kukelev)<sup>1</sup>

А. С. Устинов (A. Ustinov)

e-mail: anton-ustinov@psu.karelia.ru

Петрозаводский государственный университет

#### **АННОТАЦИЯ**

Приводится описание термодинамических параметров и параметров микроклимата кабины лесозаготовительной машины.

**Ключевые слова:** расход теплоты, удельная теплоемкость воздуха, массовый расход воздуха, расчетная температура.

#### **SUMMARY**

Thermodynamic and microclimate parameters of the harvesting machine cabin are described in the article.

**Keywords:** heat consumption, specific heat capacity, air mass consumption, design temperature.

#### **ВОЗДУШНЫЕ И ТЕПЛОВЫЕ РЕЖИМЫ КАБИНЫ**

Кабину машины рассматриваем как открытую термодинамическую систему со своими параметрами воздушной среды. Для комфорта человека должен обеспечиваться обмен воздуха. В холодный период года его необходимо нагревать и увлажнять, а в теплый – охлаждать и подсушивать. Процессы, происходящие в ограниченном пространстве, как тепловые, так и подвижности воздуха, описываются законами сохранения массы и энергии [2-4]. Использование математического подхода и системного анализа теплового режима кабин транспортных средств позволяет рассматривать всю совокупность расчетов относительно воздушной среды кабины (рис. 1).

Микроклимат в кабине формируется сочетанием входных и выходных параметров. Изменение параметров описывается системой уравнений [1]:

$$\frac{dm}{d\tau} = \sum_i G_i + \sum_k G_k,$$

<sup>1</sup> Авторы – соответственно доцент и аспирант кафедры промышленной теплотехники и энергосбережения

© Кукелев Ю. К., Устинов А. С., 2005

$$\frac{dE}{d\tau} = \sum_i G_i h_i + \sum_k Q_k,$$

где  $\tau$  – время;  $m$  – масса воздуха;  $Q_k$  – источник энергии;  $t$  – температура;  $h = t + d \cdot (2500 + 1,97t)$  – удельная энтальпия влажного воздуха;  $d$  – влагосодержание;  $dE = d(m \cdot c_v \cdot t) + p dv$  – изменение полной энергии воздуха; произведение  $c_v$  на  $t$  – внутренняя энергия;  $c_p$  и  $c_v$  – удельные теплоемкости воздуха

при постоянном давлении и объеме;  $G_i = \int_S \rho \cdot w_i \cdot dS_i$  –

расход воздуха через отводящий канал;  $G_k = \int_S$

$\rho \cdot w_k \cdot dS_k$  – источник массы;  $\rho$  – плотность воздуха;  $w_i$ ,  $w_k$ , – векторы скорости через отводящий канал и от источника соответственно.

В качестве критерия, характеризующую целевую функцию, могут быть приняты различные величины. Они могут иметь: термодинамический оптимум – суммарный тепловой поток в кабину, тепловые потоки через прозрачные и непрозрачные ограждения, от двигателя и трансмиссии, от воздухообмена; энергетический оптимум – потребляемая мощность на кондиционирование воздуха; технологический оптимум; конструкторский оптимум; эксплуатационный оптимум, в качестве которого может быть принят критерий комфортности микроклиматических условий; частный и полный технико-экономический оптимум, определяемый годовыми приведенными затратами на нормализацию микроклимата.

Определение составляющих для уравнений, в предположении при преобладании конвективного теплообмена как внутри кабины, так и снаружи, и составляет основную задачу далее. Мы часто сталкиваемся с процессами (в нашем случае – кабина лесозаготовительной техники), находящимися вне состояния термодинамического равновесия. Равновесные термодинамические соотношения справедливы для переменных, определенных в элементарном объеме [5].

Балансовые уравнения микроклимата решаются для стационарного (квазистационарного) состояния. Поскольку кабина, как открытая термодинамическая система, обменивается с окружающей средой как энергией в виде теплоты, так и веществом, то для поддержания системы в стационарном неравновесном состоянии вследствие необратимости протекающих процессов система обменивается энтропией с окружающей средой [5].  $dQ$  – количество теплоты, которым обмениваются воздух в кабине и границы системы. Примем  $T > T''$ , тогда изменение плотности энтропии системы:

$$d_i S = (1/T - 1/T'')$$

Производство энтропии:

$$\sigma = d_i S / dt \geq 0.$$

Производство энтропии на единицу объема может быть задано в виде

$$\sigma = \sum_k F_k \cdot J_k,$$

где  $F_k$  – силы, например, градиент  $(1/T)$ ;  $J_k$  – потоки, например, поток теплоты, конвективный теплообмен, диффузия. В равновесии все силы обращаются в нуль. В линейном режиме производство энтропии в системе, подверженной потоку энергии и вещества,

$$d_i S/dt = \int \sigma dV.$$

В неравновесном стационарном состоянии оно достигает минимального значения. Стационарность состояния состоит в том, что возникшая энтропия не может оставаться в системе и "вытекает" в окружающую среду.

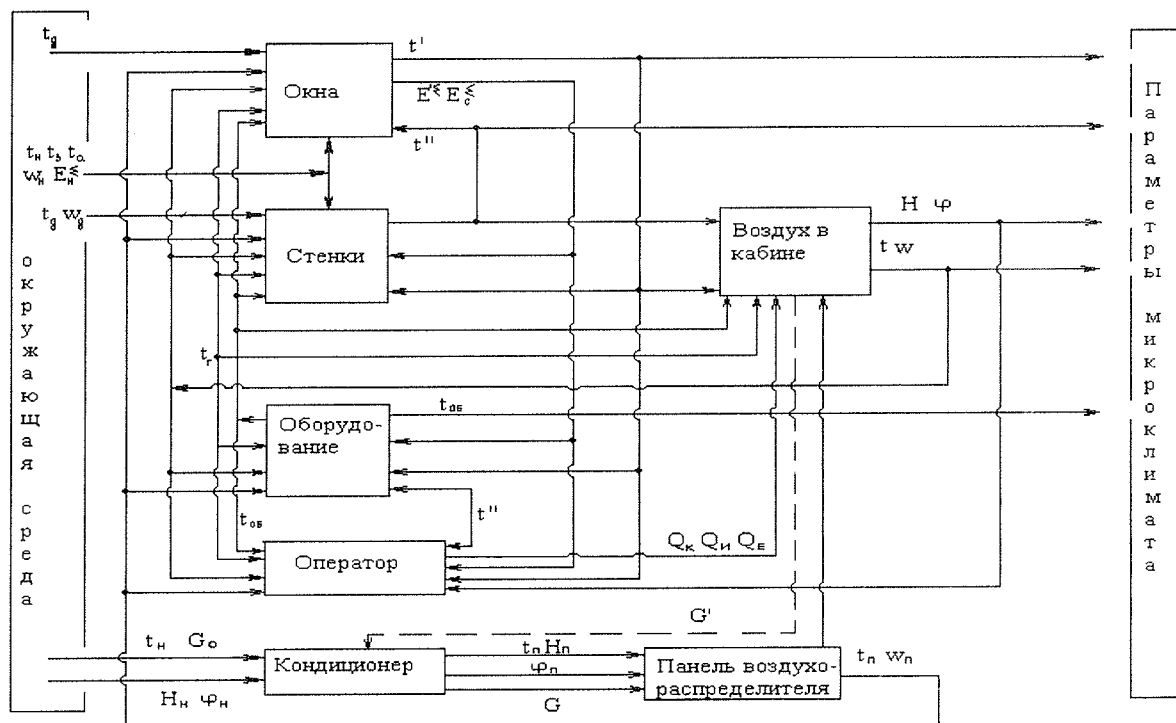


Рис. 1. Структурная схема системы «окружающая среда – кабина – человек – кондиционер воздуха»

### ТЕПЛОБМЕН И МАССОБМЕН ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В КАБИНЕ

При рассмотрении процессов кондиционирования воздуха в кабине транспортного средства приходится учитывать все виды теплообмена (рис. 1).

Параметры микроклимата: температура  $t$ , влажность  $\varphi$  с учетом температур и влажности приточного воздуха  $t_p, \varphi_p$ , температур внутренних поверхностей ограждений  $t_g$ , окон  $t'$ , стенок  $t''$ , охлаждения двигателя  $t_d$ , оборудования  $t_{об}$ , земли  $t_z$ , наружной  $t_n, \varphi_n$  и атмосферы  $t_a$  являются комфортными параметрами воздуха. Энергетически целесообразно нагревать приточный наружный воздух при постоянном влагосодержании. Вторым значительным источником поступления явного тепла в кабину является солнечная радиация на наружную поверхность  $E_n$ , проникающая через окна  $E_c$ , падающая на внутреннюю поверхность ограждений  $E$ . По условиям теплового комфорта для человека температура на окружающих поверхностях должна поддерживаться не выше  $26^\circ\text{C}$ . Производительность системы кондиционирования

воздуха равна расходу приточного воздуха  $G = G_o$ . В холодный период года необходимо применять рециркуляцию теплоты отводящего воздуха для нагрева приточного наружного воздуха  $G = G' + G_o$ .

Рассмотрим тепловой баланс, энергозатраты человека в кабине лесозаготовительной машины. Различными исследованиями установлено, что теплообмен за счет конвекции  $Q_k$  при комфортных условиях составляет 33...35% всего теплообмена человека.

$$Q_k = f_{од} \cdot \alpha (T_{од} - T),$$

где  $f_{од}$  – коэффициент, учитывающий увеличение поверхности тела человека за счет одежды, например, для легкой спецодежды  $f_{од} = 1,1$ ;  $\alpha = 2,4 \cdot (T_{од} - T)^{0,25}$  – коэффициент теплоперехода с поверхности одежды к воздуху при свободной конвекции;  $T_{од}$  – температура одежды,  $K$ . Количество теплоты, отдаваемое человеком излучением  $Q_e$ , находится в пределах 42...44%.

$$Q_e = \varepsilon \cdot \sigma [(T_{од}/100)^4 - (T/100)^4],$$

здесь  $\sigma = 5,67 \text{ Вт/м}^2\text{К}^4$  – постоянная Стефана-Больцмана;  $\varepsilon = 0,7$  – степень черноты одетого человека. Теплообмен испарением  $Q_i$  составляет 20...25 % отдаваемой теплоты.

$$Q_i = 0,49[M/F_t(1 - \eta) - 50],$$

где  $M$  – метаболическая теплота человека, Вт;  $F_t = 1,75 \text{ м}^2$  – расчетная площадь поверхности взрослого человека; при работах средней тяжести –  $M/F_t = 130, \text{Вт/м}^2$ . При температуре воздуха ниже температуры кожи человека количество испаряемой влаги остается практически постоянным. При более высоких температурах теплоотдача возрастает. При температуре выше  $34 \text{ }^\circ\text{C}$  теплоотдача испарением является практически единственным способом теплоотдачи организма. Кислород из выделяемого воздуха в организме преобразуется в углекислый газ с выделением теплоты от 19,7 до 21,2 кДж. Как показывают расчеты, для человека более опасным является не снижение содержания кислорода в воздухе, а накопление теплоты и повышение содержания углекислого газа. Очевидно, что этот процесс интенсифицируется при повышении тяжести выполняемых работ.

Многочисленные работы как теоретического, так и экспериментального плана обращены к задаче поддержания микроклимата в кабинах мобильных машин. В зависимости от условий эксплуатации техники определяется необходимая мощность кондиционирования воздуха с приоритетным учетом всех мероприятий, направленных на минимизацию мощности систем кондиционирования воздуха. Во многих публикациях по данному вопросу, как правило, составляется уравнение теплового баланса в стационарном состоянии. Тепловой баланс в любой  $i$ -й точке внутренней поверхности кабины описывается уравнением

$$L_i + K_i + T_i = 0,$$

где  $L_i$ ,  $K_i$ ,  $T_i$  – лучистая, конвективная и кондуктивная составляющие соответственно, которые изменяются по времени, величине и знаку.

## ВЫВОДЫ

1. Минимизация мощности систем кондиционирования воздуха возможна с привлечением методов необратимой термодинамики.

2. Использование моделирования теплового режима кабин транспортных средств и системного анализа позволяет рассмотреть всю совокупность расчетов системы.

3. Комфортные микроклиматические условия для работы водителя в кабине обеспечиваются рациональным выбором значений параметров воздушной среды. Рассмотрев варианты этой термодинамической системы, конструктор получает возможность

выбрать технически наименее сложный и экономически выгодный вариант.

4. При исследовании условий тепловой обстановки внутри кабины можно получить область характеристик параметров микроклимата в рабочей зоне оператора лесной машины.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волон Д. Б. Математическое моделирование в термодинамических системах с разделенными секциями / Д. Б. Волон // Математическое моделирование. 2004. Т. 16. №1. 2004. С. 23-27.
2. Маляренко Л. Г. Исследование системы кондиционирования воздуха в помещении малого объема на примере кабин сельскохозяйственного транспорта: Автореф. дис. на соиск. учен. ст. канд. техн. наук / Л. Г. Маляренко. М., 1976. 17 с.
3. Мануковский А. Ю. Обоснование системы кондиционирования воздуха на базе термоэлектрического воздухоохладителя в кабинах лесных машин: Автореф. дис. на соиск. учен. ст. канд. техн. наук / А. Ю. Мануковский. Воронеж, 1995. 15 с.
4. Михайлов М. В. Микроклимат в кабинах мобильных машин / М. В. Михайлов, С. В. Гусева. М.: Машиностроение, 1977. 32 с.
5. Пригожин И. Современная термодинамика. От тепловых двигателей до диссипативных структур / И. Пригожин, Д. Кондепуди. М.: Мир, 2002. 461 с.