

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПРИ ОТОПЛЕНИИ КАБИН МОБИЛЬНЫХ МАШИН И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПОМЕЩЕНИЙ ДЛЯ ИХ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ТЕКУЩЕГО РЕМОНТА

д.т.н. Михайлов В.А.¹, д.т.н. Кутьков Г.М.², к.т.н. Дмитриев М.И.¹

¹Университет машиностроения, ²РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева
avt@mami.ru

Рассмотрены пути энергосбережения при воздушном отоплении кабин мобильных машин (тракторов, автомобилей, комбайнов) и производственных помещений. Показано, что в кабинах мобильных машин относительно небольшого объема, где отсутствует вытяжная вентиляция, для снижения энергопотребления на отопление при условии обеспечения на рабочем месте нормируемых температуры и относительной влажности целесообразно использовать частичную рециркуляцию обрабатываемого воздуха. Даны конкретные рекомендации по работе отопления кабины мобильной машины, которая характеризуется такими основными параметрами, как теплопроизводительность, подача воздуха и его температура. Установлено, что частичная рециркуляция обрабатываемого воздуха в кабине мобильной машины позволила снизить энергозатраты на отопление в 1,94 раза и обеспечила на рабочем месте оператора нормируемую относительную влажность воздуха без применения каких-либо дополнительных агрегатов для увлажнения. Показано, что в помещениях большего объема, где осуществляется техническое обслуживание и текущий ремонт машин, при наличии вытяжной вентиляции для обеспечения норматива по относительной влажности воздуха требуется увлажнитель. При этом с целью снижения энергопотребления на отопление необходимо утилизировать теплоту вытяжного потока воздуха для предварительного подогрева поступающего на обработку наружного воздуха с помощью теплообменника-рекуператора, снабженного осушителем вытяжного потока, для исключения обмерзания аппарата в условиях низкой внешней температуры. В качестве наполнителя блока осушения рекомендовано применять силикагель, так как поглощение влаги силикагелем сопровождается повышением температуры обрабатываемого воздуха, что в системе отопления приводит к снижению энергозатрат и является положительным качеством.

Ключевые слова: кабина мобильной машины; производственное помещение; воздушное отопление; приточная и вытяжная вентиляция; энергосбережение; рециркуляция воздуха; утилизация теплоты; теплообменник-рекуператор; увлажнитель и осушитель воздуха.

Введение

В требующих обогрева помещениях при наличии в них приточной вентиляции целесообразно применять воздушное отопление, которое здесь является наиболее экономичным [1]. По качеству приточного воздуха системы воздушного отопления подразделяются на рециркуляционные, с частичной рециркуляцией и прямоточные (без рециркуляции).

В кабинах самоходных машин относительно небольшого объема, где отсутствует вытяжная вентиляция, для снижения энергопотребления на отопление при условии обеспечения на рабочем месте нормируемых температуры и относительной влажности целесообразно ис-

пользовать частичную рециркуляцию обрабатываемого воздуха.

Рециркуляционные системы применяют в помещениях, где отсутствуют вредные выделения. Системы с частичной рециркуляцией используют в случае, когда количество приточного воздуха, требуемого для компенсации потерь теплоты, превышает количество воздуха, необходимого для восполнения вытяжного воздуха. Прямоточные системы без рециркуляции применяют только в случаях, если в воздух помещения выделяются вредные вещества первого, второго и третьего классов опасности или при наличии в воздухе помещений резковывраженного неприятного запаха [1].

Цель исследования

Целью настоящего исследования является рассмотрение способов энергосбережения при отоплении кабин мобильных машин и производственных помещений для их технического обслуживания и текущего ремонта.

Оценка методов энергосбережения при отоплении кабин мобильных машин и производственных помещений для их обслуживания и ремонта

Работу отопления характеризуют такие основные параметры, как теплопроизводительность $Q_{от}$ (Вт или кВт), подача воздуха $L_{от}$ (м³/с или м³/ч) и его температура $t_{от}$ (°C), которые связаны соответствующими известными выражениями [2]:

- при прямооточном режиме работы

$$Q_{от} = c_p \cdot \rho_{от} \cdot L_{от} \cdot (t_{от} - t_n^{от}); \quad (1)$$

- в режиме полной рециркуляции

$$Q_{от} = c_p \cdot \rho_{от} \cdot L_{от} \cdot (t_{от} - t_{рз}^{от});$$

- в режиме с частичной рециркуляции

$$Q_{от} = c_p \cdot \rho_{от} \cdot L_n \cdot (t_{от} - t_{рз}^{от}) + c_p \cdot \rho_{от} \cdot L_{рец} \cdot (t_{от} - t_{рз}^{от}), \quad (2)$$

где $\rho_{от}$ – плотность воздуха при температуре $t_{от}$, кг/м³; $t_{от}$, $t_n^{от}$, $t_{рз}^{от}$ – температура воздуха соответственно на выходе из отопителя, наружного и на рабочем месте, °C; $L_{от}$, L_n , $L_{рец}$ – подача воздуха соответственно из отопителя, наружного и рециркуляционного ($L_n + L_{рец} = L_{от}$).

Расчетную температуру наружного воздуха $t_n^{от}$ принимают по климатологическим данным для определенного представительного пункта. В качестве примера в табл. 1 приведены данные для ряда представительных пунктов по данным [3]. Необходимое значение $L_{от}$ определяют исходя из обеспечения на рабочем месте нормативной $t_{рз}^{от}$ [4] по выражению (2):

$$L_{от} = Q_{ас}^{от} / [c_p \cdot \rho_{от} \cdot (t_{от} - t_{рз}^{от})],$$

где $Q_{ас}^{от}$ – тепловая нагрузка помещения (Вт или кВт) при $t_n^{от}$.

Помимо обеспечения на рабочем месте нормируемой температуры воздуха в холодный период года, отопление должно обеспечивать его приемлемую относительную влажность не ниже 30% [4]. Поскольку в этот период, осо-

бенно при весьма низких температурах $t_n^{от}$, влагосодержание наружного воздуха незначительно (менее 0,5 г/кг сухого воздуха), а нормативное на рабочем месте должно быть порядка 4 г/кг сухого воздуха, обрабатываемый в отопителе воздух нужно увлажнять.

Если при отоплении помещений увлажнение воздуха после его предварительного нагрева в калорифере достигается путем обработки в камере орошения [5], где используется адиабатный процесс, при котором воздух снижает свою температуру, то в системе необходимо применить калорифер вторичного подогрева, чтобы опять повысить температуру приточного воздуха до первоначального уровня. На это, естественно, требуются дополнительные энергозатраты [6].

Температура наружного воздуха в большинстве климатических районов нашей страны весьма низка. Даже, например, для условий г. Москвы согласно данным табл. 1 по расчетным параметрам Б она достигает минус 26°C. В то же время в холодный период года по данным [4] оптимальная температура воздуха в помещении при выполнении человеком работы средней тяжести должна составлять в среднем $t_{рз}^{от} = 20^\circ\text{C}$. Если в таком состоянии воздух вытяжной вентиляцией при прямооточном режиме функционирования удаляется в атмосферу, то по существу тепловая энергия системы отопления будет нерационально расходоваться на нагрев наружного воздуха. В связи с этим для энергосбережения за счет снижения общей теплопроизводительности системы отопления предлагаются два пути [6].

Первый путь – применение частичной рециркуляции, поскольку вредности удаляются непосредственно от источника их возникновения вытяжной вентиляцией. Например, источником вредностей в производственном помещении при обслуживании машин является их работающий двигатель внутреннего сгорания. Однако здесь необходимо учитывать, что минимально необходимое количество свежего воздуха, подаваемого в помещение, принимается исходя из обеспечения для каждого оператора не менее 30 м³/ч [4]. При этом подача воздуха приточной вентиляцией должна компенсировать расход воздуха вытяжной вентиляцией, которая существенно больше, чем подача воздуха, обеспечивающая указанную санитарную норму. Поэтому при использовании частичной

Таблица 1

Расчетные параметры наружного воздуха для холодного периода года

№ п/п	Пункт	Барометрическое давление, мм рт. ст.	Параметры А (средние)		Параметры Б (максимальные)	
			Температура воздуха, °С	Удельная энтальпия, кДж/кг	Температура воздуха, °С	Удельная энтальпия, кДж/кг
1	Астрахань	760	-8	-4,2	-23	-21,9
2	Ашхабад	730	-2	4,2	-11	-8
3	Волгоград	745	-13	-10,5	-25	-23,9
4	Вологда	745	-16	-14,2	-31	-30,6
5	Воронеж	745	-14	-11,7	-26	-25,3
6	Грозный	745	-5	0	-18	-16,2
7	Краснодар	730	-5	0	-19	-17,6
8	Москва	745	-15	-11,7	-26	-25,3
9	Мурманск	760	-18	-16,3	-27	-26,6
10	Новосибирск	745	-24	-23	-39	-38,9
11	Оренбург	745	-20	-18,8	-31	-30,5
12	Петрозаводск	760	-15	-11,7	-29	-28,5
13	Псков	760	-11	-8	-26	-25,5
14	Санкт-Петербург	760	-11	8	-26	-25,5
15	Смоленск	745	-13	-10,5	-26	-25,5
16	Сочи	760	2	9,6	-3	2,1
17	Ташкент	715	-6	-2,5	-15	-13,4
18	Тула	745	-14	-11,7	-27	-26,6
19	Уфа	745	-19	-17,6	-35	-34,5
20	Хабаровск	745	-23	-22,2	-31	-30,8

рециркуляцией подачу наружного воздуха L_n следует принять равной количеству воздуха $L_{уд}$ необходимому для удаления вредностей. Подача же воздуха $L_{от}$ при частичной рециркуляции должна быть в принципе больше L_n , поскольку обуславливается необходимой теплопроизводительностью системы.

Особый интерес представляют методы создания микроклимата в кабинах мобильных машин, которые подробно рассмотрены в работах [7–15]. Кабины мобильных машин имеют существенно меньший объем по сравнению с производственными помещениями, в которых выполняется техническое обслуживание и ремонт техники.

В кабинах мобильных машин, где вытяжная вентиляция (как подсистема) отсутствует [2, 7–15], теплый воздух из нее удаляется в атмосферу через неплотности в ограждающих конструкциях. Тогда по данным [2, 7] при значе-

ниях $L_n = 40 \text{ м}^3/\text{ч}$, $L_{от} = 255 \text{ м}^3/\text{ч}$, $L_{рец} = 215 \text{ м}^3/\text{ч}$, $t_n^{от} = -20^\circ\text{C}$, $t_{от} = 40^\circ\text{C}$ и $t_{рз}^{от} = 14^\circ\text{C}$ теплопроизводительность установки по формуле (2) составит $Q_{от} = 2,5 \text{ кВт}$. В случае же использования прямоточного режима отопления согласно выражению (1) потребовалась бы теплопроизводительность, равная $Q_{от} = 4,84 \text{ кВт}$.

Таким образом, здесь частичная рециркуляция позволила снизить энергозатраты на отопление в 1,94 раза. К тому же в этом случае рециркуляция позволила обеспечить на рабочем месте нормируемую относительную влажность воздуха без применения каких-либо дополнительных агрегатов для увлажнения [2].

Следовательно, частичная рециркуляция воздуха при отоплении кабин самоходных машин является рациональной с позиции энергосбережения.

Для оценки возможности реализации этого пути энергосбережения при отоплении произ-

водственного помещения для технического обслуживания и текущего ремонта машин примем следующие исходные условия. По данным [16], например, расход воздуха, удаляемого двухбортовым отсосом от ванны химической обработки деталей машины при их подготовке к последующему восстановлению [17], составляет $L_{уд} = 2500 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($0,694 \text{ м}^3/\text{с}$). По данным [6] в условиях г. Москвы для подобных случаев теплопроизводительность системы отопления при прямоточной подаче воздуха должна составлять $Q_{от} = 6,42 \text{ кВт}$. Для определения необходимой $L_{от}$ преобразуем выражение (1):

$$L_{от} = Q_{от} / [c_p \cdot \rho_{от} \cdot (t_{от} - t_{н}^{от})].$$

Полагая, что $t_{рз}^{от} = -26^\circ\text{C}$, $t_{от} = 45^\circ\text{C}$ и $\rho_{от} = 1,11 \text{ кг}/\text{м}^3$ при этой температуре, получим $L_{от} = 0,08 \text{ м}^3/\text{с}$ ($290 \text{ м}^3/\text{ч}$). Это существенно меньше $L_{уд} = 2500 \text{ м}^3/\text{ч}$, которая в этом случае не может быть компенсирована приточной вентиляцией с $L_{от} = 290 \text{ м}^3/\text{ч}$. Следовательно, с этой позиции следует принять величину $L_{от}$ равной $L_{уд} = 2500 \text{ м}^3/\text{ч}$. Тогда по формуле (1) найдем, что при $t_{от} = 45^\circ\text{C}$ и такой подаче теплопроизводительность системы уже составит $Q_{от} = 55 \text{ кВт}$. Понятно, что это неприемлемо, поскольку наступит перегрев помещения. Чтобы этого не произошло, единственным выходом из положения при такой подаче воздуха может быть снижение величины $t_{от}$. Для оценки ее значения преобразуем формулу (1) и получим выражение:

$$t_{от} = (Q_{от} + c_p \cdot \rho_{от} \cdot L_{от} \cdot t_{н}^{от}) / (c_p \cdot \rho_{от} \cdot L_{от}).$$

Тогда определим, что при $L_{от} = 2500 \text{ м}^3/\text{ч}$ величина $t_{от}$ должна быть равной $27,6^\circ\text{C}$. Поскольку в этом случае $L_{от}$ становится равной $L_{уд}$, рециркуляция здесь при наличии вытяжной вентиляции не имеет смысла. В связи с этим следует использовать другой путь энергосбережения, который широко применяется в современных системах защиты воздушной энергии среды в холодный период года – это утилизация тепловой энергии вытяжного потока для предварительного подогрева приточного воздуха [6]. Для этой цели существуют специальные агрегаты-рекуператоры теплоты (теплоутилизаторы) различных типов [5, 6, 18].

На рис. 1, по данным [18], представлена принципиальная схема устройства приточно-вытяжного агрегата с пластинчатым теплообменником-утилизатором, снабженного соответствующим вентилятором к рекуперационным блоком с фильтрами из синтетического моющего материала, защищающими блок от загрязнения. Однако опыт применения утилизаторов такого типа показывает, что в климатических районах нашей страны с относительно низкими температурами наружного воздуха (см. табл. 1) их функционирование в зимнее время неизбежно связано с обмерзанием сконденсировавшейся на пластинах теплообменника влаги, высаживаемой из выбросного воздуха [18]. Замерзающая влага в виде инея и наледи постепенно перекрывает каналы для прохода удаляемого воздуха, что в итоге нарушает работу устройства. Это является главным препятствием для применения таких ути-

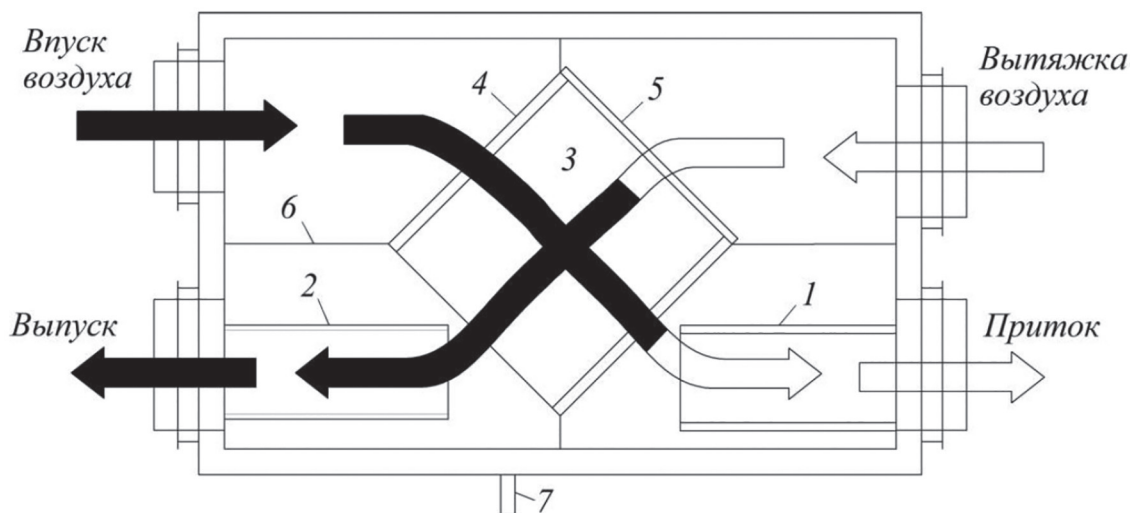


Рис. 1. Схема приточно-вытяжного агрегата с утилизатором теплоты:

- 1 – приточный вентилятор; 2 – вытяжной вентилятор; 3 – пластинчатый теплообменник; 4 – приточный фильтр; 5 – вытяжной фильтр; 6 – термостат размораживания; 7 – дренажный патрубок

лизаторов в условиях России, в то время как в Европе, где расчетная температура наружного воздуха в холодный период года составляет не ниже минус 4°C, они успешно используются.

Существующую границу обмерзания таких утилизаторов можно сдвинуть до минус 9 °С, если движение удаляемого воздуха по вытяжным каналам осуществить с повышенной скоростью, что позволяет сдувать этим потоком сконденсированные капли воды со стенок теплообменника. Дальнейшее же расширение границ использования утилизаторов теплоты выбросного воздуха связано с необходимостью поддержания на теплоизвлекающих поверхностях положительной температуры независимо от температуры поступающего в теплоутилизатор холодного наружного воздуха с целью исключения замерзания конденсата. Этому требованию отвечает устройство для утилизации с насосной циркуляцией промежуточного теплоносителя-антифриза, температура которого может поддерживаться на уровне, не допускающем образования инея и льда на теплоизвлекающей поверхности. Однако утилизаторы такого типа конструктивно сложны и относительно дороги, что сдерживает их широкое применение на практике.

Выпадение конденсата на теплопередающей поверхности теплообменника-утилизатора обусловлено тем, что ее температура ниже температуры точки росы выбросного воздуха помещения при $t_{рз}^{от} = 20^\circ\text{C}$ и $\phi_{рз}^{от} = 40\%$. Влагосодержание этого воздуха составляет $d_{рз}^{от} = 6$ г/кг сухого воздуха, в то время как влагосодержание наружного воздуха при его температуре $t_n^{от}$ ниже минус 20°C составляет $d_{рз}^{от}$ не более 0,4 г/кг сухого воздуха. Если каким-либо образом осушить вытяжной воздух перед утилизатором до состояния, когда его влагосодержание не будет превышать $d_{рз}^{от}$, то в утилизаторе выпадение конденсата становится в принципе невозможным. Тогда отпадет надобность в дополнительном применении устройства с антифризом, так как появляется возможность использовать отработанную в конструктивном отношении схему на рисунке, дополнив ее на входе блоком, содержащим осушитель воздуха (не показан).

В качестве наполнителя блока осушения целесообразно применить относительно доступный силикагель [19], преимуществами которого являются дешевизна, негорючесть, высокая механическая прочность к истиранию и способ-

ность к регенерации (восстановлению) при относительно низкой температуре (110...120°C). Отметим, что поглощение влаги силикагелем сопровождается повышением температуры обрабатываемого воздуха, что в нашем случае в системе отопления является положительным качеством. Особенно предпочтительным является применение силикагеля при защите атмосферного воздуха от вредных газообразных выбросов, что имеет место при обслуживании машины с работающим двигателем внутреннего сгорания в закрытом производственном помещении. Тогда аппарат совмещает в системе защиты воздушной среды две функции – очистителя выбросного воздуха и его осушителя, обеспечивающего надежную работу теплообменника-регенератора в режиме отопления в условиях зимнего периода.

Выводы

В кабинах самоходных машин относительно небольшого объема, где отсутствует вытяжная вентиляция, для снижения энергопотребления на отопление при условии обеспечения на рабочем месте нормируемых температуры и относительной влажности целесообразно использовать частичную рециркуляцию обрабатываемого воздуха.

В помещениях большого объема, где осуществляется техническое обслуживание и текущий ремонт машин, при наличии вытяжной вентиляции для обеспечения норматива по относительной влажности воздуха требуется увлажнитель. С целью снижения энергопотребления на отопление необходимо утилизировать теплоту вытяжного потока воздуха для предварительного подогрева поступающего на обработку наружного воздуха с помощью теплообменника-рекуператора, снабженного осушителем вытяжного потока.

Литература

1. Графкина М.В., Михайлов В.А., Нюнин Б.Н. Безопасность жизнедеятельности / Под общ. ред. Б.Н. Нюнина. М.: ТК Велби. Изд-во «Проспект», 2007. 608 с.
2. Михайлов В.А. Выбор параметров и режима работы системы отопления кабины трактора // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1994. № 4. С. 11–14.
3. Строительные нормы и правила. Отопление, вентиляция и кондиционирование. СНиП 2.04.05 - 91*. М.: Минстрой России, ГУП ЦПП, 1994. 64 с.

4. ГОСТ 12.1.005- 88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. М.: Стандартиформ, 2005. 128 с.
5. Кокорин О.Я., Дерипасов А.М. Отечественное оборудование для создания систем вентиляции и кондиционирования воздуха: Каталог. М.: Каталог, 2002. 92 с.
6. Кокорин О.Я. Энергосберегающие технологии функционирования систем вентиляции отопления, кондиционирования воздуха (систем ВОК). М.: Проспект, 1999. 208 с.
7. Шарипов В.М., Михайлов В.А., Шарипова Н.Н. Климатическая комфортабельность колесных и гусеничных машин. Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. 197 с.
8. Михайлов В.А., Шарипова Н.Н. Оценка функциональных качеств локального воздухоохладителя в кабине трактора // Тракторы и сельхозмашины. 2012. № 10. С. 20–23.
9. Михайлов В.А., Шарипова Н.Н., Климова Е.В. Разработка конструкции инновационного локального водоиспарительного воздухоохладителя для кабин тракторов // Известия МГТУ «МАМИ». 2013. № 2(16). Т. 1. С. 179–185.
10. Михайлов В.А., Шарипова Н.Н., Тарасова Л.И. Выбор рационального энерго-сберегающего способа нормализации теплового состояния оператора трактора в теплый период года // Известия МГТУ «МАМИ». 2013. № 2(16). Т.1. С. 175–179.
11. Михайлов В.А., Шарипова Н.Н. Инновационный локальный водоиспарительный воздухоохладитель для кабин тракторов // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 2. С. 3–6.
12. Михайлов В.А., Шарипова Н.Н. Теоретические основы создания орошаемой насадки регулярной структуры для воздухоохладителей кабин колесных и гусеничных машин // Тракторы и сельхозмашины. 2014. № 12. С. 28–34.
13. Михайлов В.А., Шарипова Н.Н. Особенности технологии защиты воздушной среды объектов автотранспортного комплекса // Известия МГТУ «МАМИ». 2014. № 3(21). Т. 1. С. 55–64.
14. Михайлов В.А., Шарипова Н.Н. Орошаемые насадки для обработки воздуха в системах колесных и гусеничных машин // Тракторы и сельхозмашины. 2015. № 4. С. 12–17.
15. Михайлов В.А., Шарипова Н.Н. Орошаемые насадки для обработки воздуха в кабинах тракторов и сельскохозяйственных машин // Известия МГТУ «МАМИ». 2015. № 1(23). Т.1. С. 71–77.
16. Белов С.В., Барбинов Ф.А., Козьяков А.Ф. и др. Охрана окружающей среды / Под ред. С.В. Белова. М.: Высшая школа, 1991. 439 с.
17. Графкина М.В., Михайлов В.А., Иванов К.С. Экология и экологическая безопасность автомобиля. М.: ФОРУМ, 2009. 380 с.
18. Ливчак И.Ф. Инженерная защита и управление развитием окружающей среды. М.: Колос, 2001. 75 с.
19. Юшин В.В., Попов В.М., Кукин П.П. и др. Техника и технология защиты воздушной среды. М.: Высшая школа, 2005. 391 с.

References

1. Grafkina M.V., Mikhaylov V.A., Nyunin B.N. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* [Life safety]. Pod obshch. red. B.N. Nyunina. Moscow. TK Velbi. Izd-vo «Prospekt» Publ., 2007. 608 p.
2. Mikhaylov V.A. Selection of parameters and modes of operation of the tractor cabin heating system. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny*. 1994. No 4. pp. 11-14 (In Russ.).
3. *Stroitel'nye normy i pravila*. Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie. SNiP 2.04.05 - 91*. Moscow. Minstroy Rossii, GUP TsPP Publ., 1994. 64 p.
4. *GOST 12.1.005- 88. SSBT*. Obshchie sanitarnogigienicheskie trebovaniya k vozdukhу rabochey zony. Moscow. Standartinform Publ., 2005. 128 p.
5. Kokorin O.Ya., Deripasov A.M. *Otechestvennoe oborudovanie dlya sozdaniya sistem ventilyatsii i konditsionirovaniya vozdukha* [Domestic equipment for the creation of ventilation and air conditioning systems]: Katalog. Moscow. Katalog Publ., 2002. 92 p.
6. Kokorin O.Ya. *Energosberegayushchie tekhnologii funktsionirovaniya sistem ventilyatsii otopleniya, konditsionirovana vozdukha (sistem VOK)* [Energy-saving technologies of functioning of heating, ventilation, air conditioning systems]. Moscow. Prospekt Publ., 1999. 208 p.
7. Sharipov V.M., Mikhaylov V.A., Sharipova N.N. *Klimaticheskaya komfortabel'nost' kollesnykh i gusenichnykh mashin*. Saarbrücken [Climate comfort of wheeled and tracked vehicles. Saarbrücken]. LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH & Co. KG, 2011. 197 p.
8. Mikhaylov V.A., Sharipova N.N. Evaluation of the functional qualities of the local air cooler in the tractor cabin. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2012. No 10. pp. 20-23 (In Russ.).
9. Mikhaylov V.A., Sharipova N.N., Klimova E.V. Developing of innovative design of water evaporative air cooler for tractor cabins. *Izvestiya MGTU «МАМИ»*. 2013. No 2(16). Vol. 1. pp. 179-185 (In Russ.).
10. Mikhaylov V.A., Sharipova N.N., Tarasova L.I. Selection of rational energy-saving way of

- normalization of the thermal state of the tractor operator in the warm season. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2013. No 2(16). Vol. 1. pp. 175-179 (In Russ.).
11. Mikhaylov V.A., Sharipova N.N. Innovative local water evaporative air cooler for tractor cabins. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2014. No 2. pp. 3-6 (In Russ.).
12. Mikhaylov V.A., Sharipova N.N. The theoretical basis for the creation of irrigated nozzle of regular structure for cabins air coolers of wheeled and tracked vehicles. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2014. No 12. pp. 28-34 (In Russ.).
13. Mikhaylov V.A., Sharipova N.N. Features of air security technology for objects of automotive transport complexes. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2014. No 3(21). Vol. 1. pp. 55-64 (In Russ.).
14. Mikhaylov V.A., Sharipova N.N. Irrigated nozzles for air treatment systems of wheeled and tracked vehicles. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2015. No 4. pp. 12-17 (In Russ.).
15. Mikhaylov V.A., Sharipova N.N. Irrigated nozzles for air treatment in the cabins of tractors and agricultural machinery. *Izvestiya MGTU «MAMI»*. 2015. No 1(23). Vol. 1. pp. 71-77 (In Russ.).
16. Belov S.V., Barbinov F.A., Koz'yakov A.F. i dr. *Okhrana okruzhayushchey sredy* [Environmental protection]. Pod red. S.V. Belova. Moscow. Vysshaya shkola Publ., 1991. 439 p.
17. Grafkina M.V., Mikhaylov V.A., Ivanov K.S. *Ekologiya i ekologicheskaya bezopasnost' avtomobilya* [Ecology and environmental safety of automobile]. Moscow. FORUM Publ., 2009. 380 p.
18. Livchak I.F. *Inzhenernaya zashchita i upravlenie razvitiem okruzhayushchey sredy* [Engineering protection and control of environment development]. Moscow. Kolos Publ., 2001. 75 p.
19. Yushin V.V., Popov V.M., Kukin P.P. i dr. *Tekhnika i tekhnologiya zashchity vozdukhnoy sredy* [Technique and technology of air environment protection]. Moscow. Vysshaya shkola Publ., 2005. 391 p.

ENERGY SAVINGS FOR HEATING CABINS OF MOBILE MACHINES AND PRODUCTION FACILITIES FOR THEIR MAINTENANCE AND REPAIR

Dr.Eng. **V.A. Mikhailov**, Dr.Eng. **G.M. Kutkov**, Ph.D. **M.I. Dmitriev**
Moscow State University of Mechanical Engineering (MAMI),
Russian State Agricultural University
avt@mami.ru

The ways of energy saving in air heating of cabins of mobile machinery (tractors, trucks, harvesters) and production facilities are discussed. It is shown that in the cabins of mobile machines with a relatively small volume with no exhaust ventilation to reduce energy consumption for heating, while regulating temperature at workplace and relative humidity, is to use partial recirculation of treated air. Specific recommendations for the heating of the mobile machine cabins, which is characterized by basic parameters such as thermal performance, air flow and temperature are given. It was found that the partial recirculation of the treated air in the cabin of the mobile machine has allowed to reduce energy consumption for heating in 1.94 times and provided on working place of operator normalizable relative humidity without any additional units for humidification.

It is shown that in areas of larger volume, where maintenance and repair is carried out in the presence of local exhaust ventilation, standard for relative humidity could be provided only with humidifier. Thus in order to reduce energy consumption for heating it is necessary to dispose the exhaust air heat flow to preheat the incoming air using the heat exchanger-recuperator provided with an exhaust air dryer to avoid freezing of apparatus at low ambient temperature conditions. The filler of drying unit could be silica gel as water absorption by silica gel is accompanied by increasing treated air temperature and in the heating system it leads to energy consumption and is a positive characteristic.

Keywords: mobile machinery cabin, production facility, air heating, ventilation and air extraction, energy saving, air recirculation, heat recovery, heat exchanger, humidifier and dehumidifier.