

Тип статьи: научная  
УДК 631.67.03:546.214  
DOI: 10.35887/2305-2538-2024-4-17-30

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА В КАБИНЕ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

*Светлана Зиновьевна Манойлина*<sup>1</sup>, *Владимир Иванович Оробинский*<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,  
г. Воронеж, Российская Федерация

<sup>1</sup> s.manoilina@yandex.ru

<sup>2</sup> main@agroeng.vsau.ru

Автор, ответственный за переписку: Светлана Зиновьевна Манойлина, s.manoilina@yandex.ru  
Corresponding author: Svetlana Manoilina, s.manoilina@yandex.ru

**Реферат.** Исследования, направленные на создание системы охлаждения в кабине транспортного средства, которая максимально быстро и эффективно воздействует на тело оператора, при ее экологичности и экономичности приведены в статье. Выявлено, что на эффективность труда оператора транспортного средства оказывают влияние температурно-влажностные параметры микроклимата кабины (салона). Применен многоуровневый подход к составлению теплового баланса подвода и отвода теплоты к водителю транспортного средства с учетом целесообразности охлаждения только локальной зоны его тела. Дан анализ результатов экспериментов по возможности использования распределителей потоков вентиляционного воздуха для локальных объемов с находящимися там людьми. Выявлено, что работа существующих штатных систем охлаждения и вентиляции в кабине транспортного средства связана со значительными затратами энергии, расходом большого количества топлива, снижением его экологичности и экономичности. Это вызвано конструктивной сложностью изготовления системы охлаждения, ее неподвижностью относительно тела оператора, в результате распределенный в любую сторону поток выходит из поверхностных элементов кабины, размывается в общем объеме, утрачивает необходимую скорость обдува, и как следствие эффект охлаждения. Усовершенствовать распределитель потоков воздуха кабины транспортного средства можно за счет канала, имеющий два усеченных конуса, расположенных один в другом, позволяющим менять поперечное сечение выходного отверстия и направление распределения потоков воздуха. Были получены: температурное распределение круглых струй системы вентиляции трактора МТЗ-100 при температуре наружного воздуха  $t_{н}=29,5$  °С без охладителя и с охладителем, математическое выражение для определения расстояния от распределителя. Установлено, что при сохранении среднего коэффициента теплоотдачи на уровне  $6,5$  Вт/м<sup>2</sup> и скорости выхода воздуха 1 м/с общий теплосъем увеличивается примерно в 2,4 раза.

**Ключевые слова:** транспортное средство, поток воздуха в кабине, распределитель, нормализация температуры.

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF AIR CONDITIONING IN THE VEHICLE CABIN

*Svetlana Manoilina*<sup>1</sup>, *Vladimir Orobinsky*<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great,  
Voronezh, Russian Federation

<sup>1</sup> s.manoilina@yandex.ru

<sup>2</sup> main@agroeng.vsau.ru

**Abstract.** The article presents the research aimed at creating a cooling system in a vehicle cabin that would have the fastest and most effective effect on the operator's body, while being environmentally friendly and cost-effective. It has been found that the efficiency of a vehicle operator's work is affected by

*the temperature and humidity parameters of the cabin (salon) microclimate. A multi-level approach has been applied to drawing up a heat balance for supplying and removing heat to the driver of a vehicle, taking into account the feasibility of cooling only a local area of his body. An analysis of the results of experiments on the possibility of using ventilation air flow distributors for local volumes with people there is given. It has been found that the operation of existing standard cooling and ventilation systems in a vehicle cabin is associated with significant energy costs, the consumption of a large amount of fuel, and a decrease in its environmental friendliness and efficiency. This is caused by the design complexity of the cooling system, its immobility relative to the operator's body, as a result of which the flow distributed in any direction exits the surface elements of the cabin, is washed out in the total volume, loses the required blowing speed, and, as a consequence, the cooling effect. It is possible to improve the air flow distributor of the vehicle cabin due to the channel having two truncated cones located one in the other, allowing to change the cross-section of the outlet opening and the direction of air flow distribution. The following were obtained: temperature distribution of round jets of the ventilation system of the MTZ-100 tractor at an outside air temperature of  $t_n=29.5$  °C without a cooler and with a cooler, a mathematical expression for determining the distance from the distributor. It was found that while maintaining the average heat transfer coefficient at the level of 6.5 W/m<sup>2</sup> and the air outlet speed of 1 m/s, the total heat removal increases approximately 2.4 times.*

**Keywords:** vehicle, cabin air flow, distributor, temperature normalization.

**Для цитирования:** Манойлина С.З., Оробинский В.И. Повышение эффективности кондиционирования воздуха в кабине транспортного средства // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2024. Т. 70, № 4. С. 17-30. <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-4-17-30>.

**For citation:** Manoilina S., Orobinsky V. Improving the efficiency of air conditioning in the vehicle cabin. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2024; 70(4): 17-30. (In Russ.) <https://doi.org/10.35887/2305-2538-2024-4-17-30>.

**Введение.** Благополучное состояние оператора транспортного средства широкого спектра и аварийная ситуация на транспортных магистралях определяет многофакторный комплекс, включающий эргономический, психологический и физиологический аспект. Обобщение этих показателей можно обозначить как «человеческий фактор», который устанавливает предельные границы действия оператора транспортного средства в ходе выполнения основных технологических приемов.

Детальный сравнительный анализ фактического материала [3, 6, 7, 11] в области кондиционирования воздуха в кабине транспортного средства доказывает, что температурно-влажностные характеристики микроклимата в кабине (салоне) определяют практический результат деятельности оператора. Деструктивное отрицательное влияние температуры на оператора в кабине мобильного транспортного средства (МЭС) приводит к перенапряжению, утомлению, слабости, снижению мышечного тонуса, работоспособности и качества выполняемых операций. В отдельных случаях некомфортное состояние микроклиматической обстановки способствует возникновению хронических заболеваний связанных с профессиональной деятельностью оператора (вибрационная болезнь, холодовые поражения, пневмокониоз и пылевой бронхит, тепловые и солнечные удары и др.) Одним из главных факторов ДТП, по данным исследований, является некомфортная температурная обстановка в салоне транспортного средства. В виду этого к настоящему времени уровень прогресса автомобильной науки и техники дает возможность эффективно совершенствовать и применять многие преимущества работы систем отвода теплоты от тела оператора транспортного средства и его пассажиров. Таким образом, анализ быстродействующих и эффективных устройств охлаждения тела оператора транспортного средства при высоких экологических и экономических показателях их работы является актуальным и имеет перспективы практического применения.

Тепловой баланс подводимой и отводимой теплоты к водителю транспортного средства предусматривает многоуровневый подход, систему, в которую включен учет следующих составляющих

$$Q_{\text{МЕТ}}^{\text{б}} + Q_{\text{МЕТ}}^{\text{М}} + Q_{\text{ИНС}} + Q_{\text{РАД}} + Q_{\text{КОНД}} + Q_{\text{КОНВ}} + Q_{\text{ИСП}} = 0, \quad (1)$$
где  $Q_{\text{МЕТ}}^{\text{б}} + Q_{\text{МЕТ}}^{\text{М}} = Q_{\text{МЕТ}}$  – суммарное значение биологического и мышечного метаболизма оператора;

$Q_{\text{МЕТ}}^{\text{б}}$  – биологическая естественно выделяемая человеком теплота;

$Q_{\text{МЕТ}}^{\text{М}}$  – дополнительная теплота, которая выделяется при работе оператора МЭС, водителя автомобиля;

$Q_{\text{ИНС}} + Q_{\text{РАД}} = Q$  – сумма инсоляции через светопрозрачные проемы и взаимное облучение тела оператора и ограждающих поверхностей (солнечная радиация);

$Q_{\text{ИНС}}$  – прямой поток солнечной радиации, инсоляция;

$Q_{\text{РАД}}$  – количество теплоты, определяемое по закону Стефана-Больцмана, лучистое воздействие всей оболочки кабины, фрагментов сидений, металлической оболочки, потолка, пола, дверей;

$Q_{\text{КОНД}} + Q_{\text{КОНВ}}$  – сумма кондуктивных и конвективных составляющих теплообмена,

$Q_{\text{КОНД}}$  – теплота, поступающая к телу оператора вследствие теплопроводности одежды и пограничного слоя воздуха;

$Q_{\text{ИСП}}$  – теплота терморегуляции человека за счет выделения влаги [4].

Авторами статьи делается акцент на то, что при расчете теплового баланса необходимо рассматривать то обстоятельство, что нецелесообразно не экономично охлаждать весь объем кабины, а нужно охлаждать только отдельную локальную зону тела оператора и пассажиров. В этом случае тепловой баланс включает, например, в зимний период, подвод охлажденного воздуха в область дыхания, в область конвективного теплообмена, в область передачи теплоты теплопроводностью в кресло при тепловом контакте и т.д.

Самая значимая и максимальная по степени воздействия составляющая теплового распределения – это солнечная радиация. Подсчитано, что постоянная мощность теплового потока в середине летнего солнечного дня в кабину трактора МТЗ-100 в полдень доходит до 1200-1300 Вт через проемы остекления (на широте г. Воронеж). К этому значению необходимо добавить еще 300 Вт через крышу транспортного средства. Это соответствует четвертому классу условий труда, экстремальному режиму работы. Кроме восприятия прямого инсоляционного потока оператор испытывает воздействие инфракрасного электромагнитного излучения от нагретых поверхностей салона и турбулентных конвективных потоков при перемещении воздушных масс. Все эти теплопоступления должны уравниваться вентилятором охладителя с определенной скоростью для создания комфортной среды, охватывая тело оператора с разных сторон.

В работе [10] экспериментально доказана возможность использования распределителей потоков вентиляционного воздуха для локальных объемов с находящимися там людьми. Однако требуются дополнительные исследования для расширения функциональных возможностей устройства распределения потоков воздуха в кабине транспортного средства и его конструктивное упрощение. Целью данной статьи является определение методов повышения эффективности кондиционирования воздуха, необходимого для дыхания оператора и пассажиров кабины МЭС, снижение конструктивной сложности изготовления распределителя потоков.

**Анализ состояния вопроса.** Созданные сегодня охладители системы климат-контроля для поддержания оптимальных температурно-влажностных параметров в салоне МЭС не только приводят к удорожанию транспортного средства, но и требуют огромных затрат энергии и так следствием увеличения расхода топлива, что повышает выбросы в атмосферу вредных компонентов отработавших газов [3, 5].

Вариантом кондиционирования являются устройства локального действия, которые установлены только на конкретном участке, поддерживающие оптимальные значения температуры и влаги в определенном месте, например область головы и груди оператора МЭС. В дни инсоляционной интенсивности и повышенной температурной напряженности требуется организовать подачу охлажденного воздуха в эту зону, не охлаждая все пространство кабины. Проблема создания условий, близких к оптимальным может быть решена при функционировании системы комбинированного распределения охлажденного потока, обеспечив подвод воздуха в зону пояса, в дополнении к кондуктивному теплосъему с нижней части тела оператора, и при вентиляции зоны сидения с помощью термоэлектрических модулей.

Быстрота воздействия на оператора устройства локального действия будет выше, чем при полном охлаждении, без прогрева или охлаждения всей кабины. Например, промышленность США обеспечивает постоянный выпуск нескольких десятков видов оборудования, относящегося к данной номенклатуре (например, это кондиционеры, производимые на предприятии «Mesa», расположенном в американском штате Аризона). Данное оборудование может представлять собой агрегаты, которые имеют варианты подключения к электросетям различного напряжения (на 12 В, а также в 110 В). Кроме того, известны также и варианты данного оборудования, рассчитанные только на работу с напряжением 12 В. Аналогичные устройства выпускаются и на территории Европы, французским предприятием SAMA.

Запатентованные российские устройства в этой области исследований следующие:

- устройство, которое осуществляет распределение воздушных потоков, включающее в свой состав специальный канал (сформированный, в свою очередь, из нескольких конусов разных размеров, а также механизм, ответственным за корректировку размеров конусов, если это является необходимым) [8];

- система, которая обеспечивает кондиционирование воздушных масс (и которая предназначена для её использования в автомобильном транспорте), включающая в собственный состав вентилирующее устройство, кондиционирующее устройство вместе с распределителем [2];

- вентилирующее устройство, которое разработано таким образом, чтобы его можно было применять в транспорте (оно состоит из источника, генерирующего воздух, а также из узла, отвечающего за его последующее распределение, благодаря его практической эксплуатации можно добиться того, чтобы воздушные потоки, находящиеся в кабине, начинали распределяться так, как это максимально комфортно для оператора [1].

Изучение предыдущих исследований позволяет выявить ряд недостатков данных систем:

- неподвижность системы относительно тела оператора, что мешает эффективно реагировать на изменения положения транспортного средства относительно солнечных потоков;

- необходимость складывать конусы путем перемещения листовых обечаек, составляющих каждый конус, что приводит к утечкам в средней части конусов к изменению параметров конических потоков кондиционированного воздуха;

- сложность конструкции;

- распределенный поток воздуха из поверхностных элементов кабины рассеивается и теряет скорость, что уменьшает эффективность охлаждения;

- большие аэродинамические сопротивления из-за ограничения сечения точечного потока требуют использования высокоэнергетических вентиляторов;

- для обеспечения равномерности охлаждения необходимо сложное многоточечное распределение, что усложняет конструкцию.

Очевидно, что необходимо улучшить распределение потоков воздуха в кабине транспортного средства, устраняя недостатки.

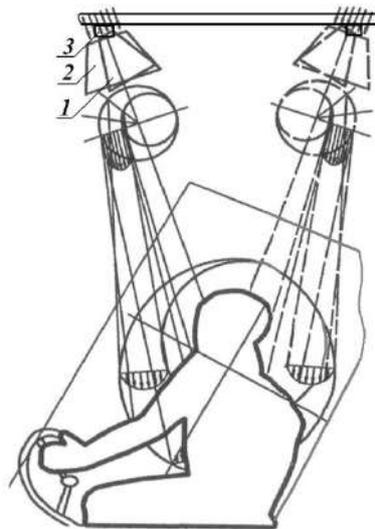
**Материалы и методы.** Для достижения поставленной цели в статье использовались лабораторные исследования, основанные на активном эксперименте, с последующей обработкой результатов методами математической статистики.

Следует обозначить, что основные потоки, для поддержания нормальных температурных условия для оператора МЭС, должны обеспечивать подвод требуемого количества воздуха в зону дыхания и съем тепла с поверхности тела, скорость подачи при этом не должна быть избыточно высокой. Для нормального дыхания оператору МЭС при средней нагрузке необходимо 75-80 м<sup>3</sup>/час охлажденного до оптимальной температуры (18-20°С при максимальной внешней температуре 28-30°С) воздуха, со скоростью подачи не более 1,5 м/с, достигающей зоны головы, лица и груди. Для обеспечения указанных показателей в устройстве из перечисленных аналогов применяется сворачивание конусов, используется изменение формы конусов, обеспечивающее переменность входных в конуса отверстий и межконусных кольцевых каналов. Червячные микроредукторы в верхней и нижней частях обоих конусов изменяют форму конусов при сворачивании. Упругие свойства листовых оболочек, образующих конусы, позволяют сохранить прямолинейность участков в области нахлеста внешней части листа. Это технически сложно и не полностью обеспечивает герметичность в средней части нахлеста листов. Однако практика

показывает, что регулировка этой системы распределения может быть достигнута поворотами внутреннего конуса относительно внешнего конуса и изменением сопротивлений в отверстиях конусов. Установка регулирующих диафрагм в этих отверстиях, которые могут перемещаться автоматически с возможностью ручной настройки в зависимости от интенсивности солнечного излучения и индивидуальных особенностей оператора изменяет интенсивность охлаждения.

Для устранения вышеуказанных недочетов и снижения поглощенного потока солнечного излучения, возникающего из-за уменьшения остаточной облачности и изменения положения транспортного средства при движении в зависимости от направления инсоляционного потока, авторами предлагается распределитель потока воздуха кабины транспортного средства [9], который линейно перемещается относительно водителя в поперечном и продольном направлениях. Внутренние размеры и характеристики кабины МЭС устанавливают величину этого перемещения.

Техническим результатом такого устройства является повышение эффективности кондиционирования воздуха, необходимого для дыхания оператора и снижение конструктивной сложности изготовления распределителя потоков. Основное достоинство устройства распределителя потоков воздуха в кабине транспортного средства – струя воздуха накрывает тело оператора, что не делает ни одна из систем. На рисунке 1 представлено размещение распределителя потоков воздуха в кабине транспортного средства.



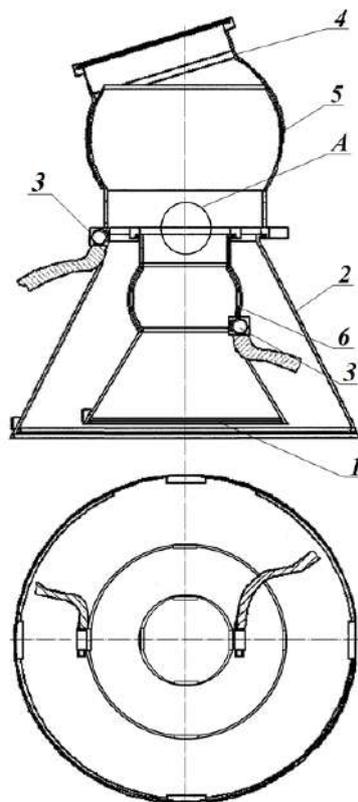
1, 2 – внутренний и внешний усеченный конус; 3 – механизм для перемещения  
Рисунок 1 – Размещение распределителя потоков воздуха в кабине транспортного средства

В данном устройстве воздушные массы, которые имеют сниженную температуру, разбиваются на два основных потока. Первый из них подводится непосредственно к тому месту, где находятся органы дыхания оператора. Второй воздушный поток подводится к разнообразным частям его тела, способствуя, таким образом, сокращению имеющейся у них температуры. Воздух, который нагрет до минимальных температур, передаётся в корпус, состоящий из двух конусов, отличающихся друг от друга по размерам (в связи с этим один из них рассматривается как внутренний, тогда как другой является внешним). Каждый из данных конусов может корректировать величину проходного сечения, таким образом, достигается возможность управления воздушным потоком. Оператор, пользуясь предоставленным в его распоряжение механизмом (3), может изменять местоположение распределителя, если он считает, что это необходимо. Отметим, что использование именно такой конструкции способствует как можно более точному распределению разных воздушных масс.

На рисунке 2 нами показан приёмный патрубок (который обозначен как 4), с геометрической точки зрения представляющий собой полусферу. Фактически он представляет собой оболочку для

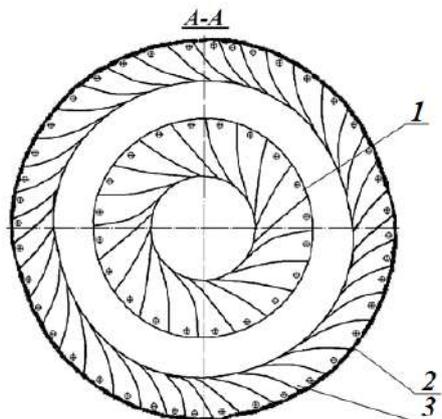
вставки (5), имеющей жёсткий контакт с конусом (2). Внутри внешнего усеченного конуса (2) выполнено аналогичное сфероидальное сочетание внутреннего усеченного конуса (1) и вставки(6). Патрубок и вставка отклоняют внешний и внутренний конуса на  $45^{\circ}$ - $50^{\circ}$  от вертикали. Диафрагмы (рисунок 3) внешней оболочки конусов, состоящие из лепестков, перекрывающих друг друга, обеспечивают изменение угла поворота раствора большого и малого конусов. Они устанавливаются на входе усеченных конусов. Лепестки диафрагмы сворачиваются с помощью приводов (3) (рисунок 2). Для создания комфортного обдува тела оператора специальный механизм (рисунок 4) передвигает сочленение двух конусов в поперечном и продольном направлениях относительно тела оператора.

Техническое выполнение предлагаемого распределителя потоков воздуха кабины транспортного средства обусловлено наличием двух усеченных конусов, при этом размещенные на выходе диафрагмы регулируют аэродинамическое сопротивление воздуха за счет сворачивания лепестков диафрагмы. Кондиционированный воздушный поток поступает в приемный патрубок и пропускается через два усеченных конуса. При помощи диафрагмы, установленной на входе внутреннего конуса, можно изменять направление потока для дыхания. Направлением и расходом общего потока охлажденного воздуха можно управлять, регулируя положение лепестков диафрагмы на входе во внешний усеченный конус. Изменение формы кольцевого сечения конусов при сворачивании, поворотом внутреннего усеченного конуса и регулируемой сменой положения всей системы внутри кабины поддерживается эффективность процесса охлаждения груди, головы, спины. Ручное перемещение распределителя потоков специальным механизмом позволяет учитывать его индивидуальные требования к охлаждению.



1 – внутренний малый усеченный конус; 2 – внешний большой усеченный конус; 3 – привод;  
4 – приемный патрубок; 5, 6 – вставка

Рисунок 2 – Общий вид распределителя



1 – малый конус; 2 – большой конус; 3 – лепестки диафрагмы  
Рисунок 3 – Диафрагмы внешних оболочек большого и малого усеченных конусов на входе

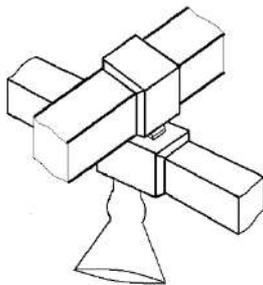


Рисунок 4 – Устройство перемещения распределителя потоков

**Результаты и их обсуждение.** На рисунке 5 представлено то, как именно распределяются струи, в случае функционирования кондиционирующей системы, которая имеется в тракторе модели МТЗ-100. Как видно из рисунка 5, данное распределение – это не что иное, как пятно, чья площадь оценивается равной шестидесяти квадратным сантиметрам. При этом разница в нагреве между входящим и выходящим воздушными потоками составляет двадцать градусов Цельсия. Иными словами, создаётся охлаждённый поток, который позволяет оператору трактора находиться в комфортных для его работы условиях. Однако количество отводимого тепла не во всех случаях является достаточным, поскольку оно не превышает отметку в сто пятьдесят Ватт. Ещё одним недостатком рассматриваемой системы кондиционирования можно считать то, что её работа увеличивает вероятность появления заболеваний, носящих простудный характер, у оператора трактора. Происходит это из-за того, что в первую очередь она отводит тепло от груди оператора трактора, а не от иных частей его тела [4].

Когда трактор работает, в его кабине формируется специфическое температурное поле. Его состояние никогда не является стабильным, поскольку оно на постоянной основе видоизменяется. Происходит это, например, из-за меняющейся конфигурации изотерм, а также из-за того, что температурный градиент постоянно меняет собственное значение. Имеется зависимость между состоянием температурного поля и факторами, зависящими от функционирования самого трактора, например, от того, в какой режим переведена его силовая установка; запущены ли различные системы, которые входят в состав трактора; в каком направлении он перемещается; имеется ли у тракторной кабины остекление; имеется ли у тракторной кабины герметичное покрытие.

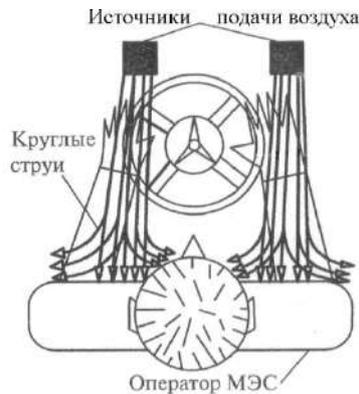
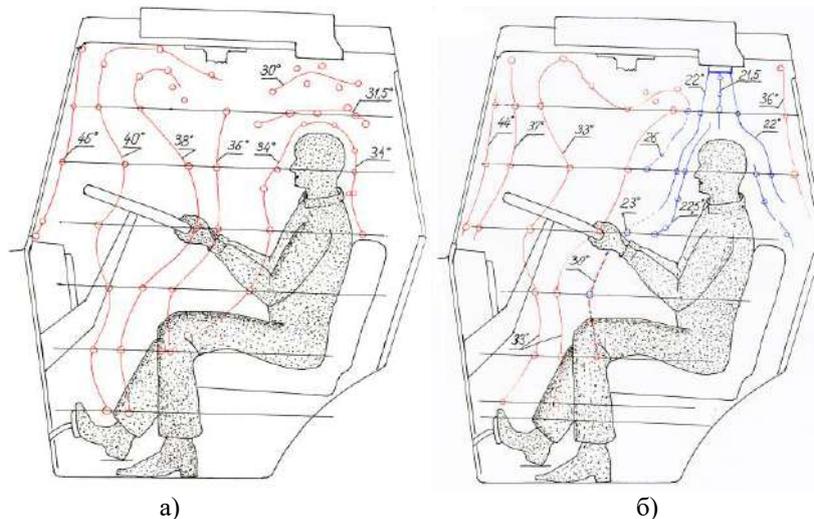


Рисунок 5 – Подача воздуха на оператора струями круглой формы

На рисунке 6 нами продемонстрировано, как выглядит температурное распределение на рабочем месте оператора тракторного оборудования (модель – МТЗ-100). Отметим, что данное температурное распределение было сформировано нами в соответствии с результатами замеров. Так, нами было выяснено, что в местах, где находится пояс водителя трактора, а также в том месте, где располагается его грудная клетка, температура воздуха может превышать отметку в тридцать пять градусов Цельсия (причём она не снижается существенно даже тогда, когда оператор запускает систему вентиляции). Ограждающие же поверхности, которые защищают тракторную кабину от негативного воздействия, происходящего из-за внешних факторов, нагреваются до уровня в сорок шесть градусов по Цельсию. Однако сразу же после того, как оператор трактора запускает охлаждающее устройство, имеющее мощность в 1,19 кВт, температурное поле сразу же трансформируется, причём существенным образом (рисунок 6, б) [4].



а) – без охладителя; б) – с охладителем

Рисунок 6 – Температурное поле кабины трактора при температуре наружного воздуха  $t_n=29,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (июнь 2019 г.):

Таким образом, непосредственно в зоне дыхания оператора трактора температура сокращается более чем на десять градусов. В той зоне, где находится его пояс, температурное падение становится менее заметным, однако оно всё же уводит нагрев в зону ниже тридцати градусов Цельсия. Охлаждающая установка работает таким образом, что она наиболее эффективно снижает температуру воздуха непосредственно там, где находится машинист трактора. В местах, которые

удалены от него более, чем на полметра, снижение температуры если и фиксируется, то незначительное, поскольку оно не превышает двух-трёх градусов Цельсия.

На рисунке 7 нами показано, как выглядит турбулентная изотермическая воздушная струя. В том случае, когда она создаётся, воздушные массы (сразу же после того, как они покидают отверстие), начинают формировать струю, имеющие границы ABC и DEF. Чтобы эту струю можно было охарактеризовать упрощённо, используем прямые AB, BC, DE и EF. В структуре воздушной струи фигурирует два отдельных участка, первый из которых, ABED, является начальным, а второй, CBEF, является конечным. BE – это сечение, которое рассматривается в качестве переходного. Как стартовое, так и основное скоростные поля могут иметь не только равномерный, но также и неравномерный характер.

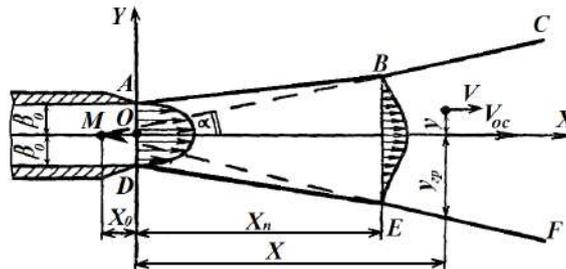


Рисунок 7 – Схема свободной круглой изотермической струи

Если скоростное поле рассматривается в качестве равномерного, то скорость движения воздушного потока практически не меняется с течением времени. То же самое характерно и для следующих параметров данной воздушной струи: во-первых, это её температура, во-вторых, это концентрация. Границы BC и EF, если их пролонгировать, получают общую точку M, рассматриваемую в качестве полюса струи. Если скоростное поле рассматривается в качестве равномерного, то данная точка соответствует центру выходного отверстия.

На рисунке 8 нами показано, как именно выглядит турбулентная струя. Стоит отметить, что в случае её формирования все те частицы, которые входят в её состав, активно перемещаются внутри её. Отдельные воздушные частицы создают вихри, а также обеспечивают попадание в турбулентный поток всё нового и нового воздуха. Из-за этого с течением времени периферийные части струи начинают перемещаться со всё более медленной и медленной скоростью. Результат данного процесса – это увеличение массы струи, а также возрастание размера её поперечного сечения. Однако же скорость перемещения струи в данном случае становится более низкой, чем та, которая была изначально. Из-за изменения местоположения, имеющегося у вихревых масс, корректируются также и температура воздуха, концентрация отдельных частиц в нём.

Для определения подачи воздуха (расхода  $Q$ ) устройства распределителя потоков воздуха в кабине транспортного средства внутренний конус предназначен главным образом для подачи его в область дыхания оператора, учитывая, что для нормального дыхания необходимо  $60 \text{ м}^3/\text{с}$  воздуха, используем формулу расхода воздуха

$$Q = F \cdot v, \quad (2)$$

где  $F$  – площадь поперечного сечения конуса,  $\text{м}^2$ ,

$$F = \pi d^2 / 4; \quad (3)$$

$v$  – скорость движения воздуха  $\text{м}/\text{с}$ ;

$d$  – внутренний диаметр конуса.

Объединяя данные уравнения, получаем формулу для определения внутреннего диаметра конуса

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{3600\pi \cdot v}}. \quad (4)$$

Скорость движения воздуха в данном случае определяет по формуле

$$v = \frac{4Q}{\pi D} = 3,6 \text{ м/с}, \quad (5)$$

где  $D$  – внешний диаметр конуса.

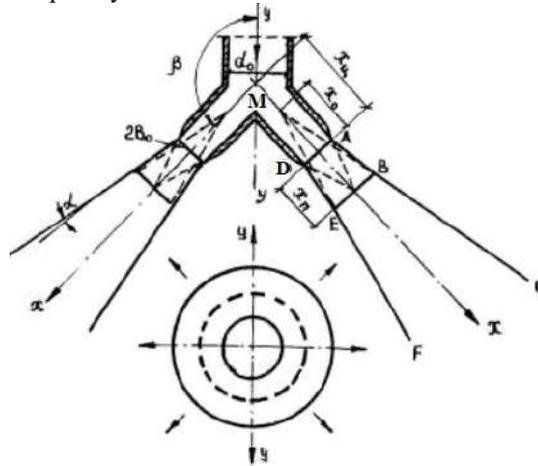


Рисунок 8 – Схема свободной турбулентной изотермической струи

Основными параметрами при проектировании локальных источников подачи воздуха являются: форма и площадь поперечного сечения через который выходит воздух, расстояние от оператора до источника.

Формой поперечного сечения выбран круг, как наиболее простое и удобное в исполнении решение.

Необходимо учитывать конфигурацию струи: круглая или кольцевая. При данном анализе следует выделить две составляющие скорости: относительная средняя по расходу и относительная осевая. Для расчета *круглой струи* воздуха использовалась формула относительной средней по расходу скорости

$$v_M = \frac{6,45\sqrt{\beta_0}}{x - x_0}, \quad (6)$$

где  $\beta_0$ ,  $x$ ,  $x_0$  обозначены на рисунке 7.

Относительная средняя осевая скорость определяется выражением

$$v_{oc} = \frac{12,4\sqrt{\beta_0}}{x - x_0}. \quad (7)$$

Для расчета *кольцевой струи* воздуха использовалась формула относительной средней по расходу скорости

$$v_M = \frac{2,67\sqrt{\beta_0}}{\sqrt{\left(1 - \frac{x}{n}\right)(x - x_0)}}, \quad (8)$$

где  $\beta_0$ ,  $x_0$ ,  $x_n$  обозначены на рисунке 7.

Относительная средняя осевая скорость равна

$$\overline{v}_M = \frac{3,8\sqrt{\beta_0}}{\sqrt{\left(1 - \frac{x}{x_n}\right)(x - x_0)}} \quad (9)$$

На рисунке 9 представлен график зависимости скорости для нашего распределителя для круглой струи от внешнего диаметра, расхода и расстояния от распределителя.

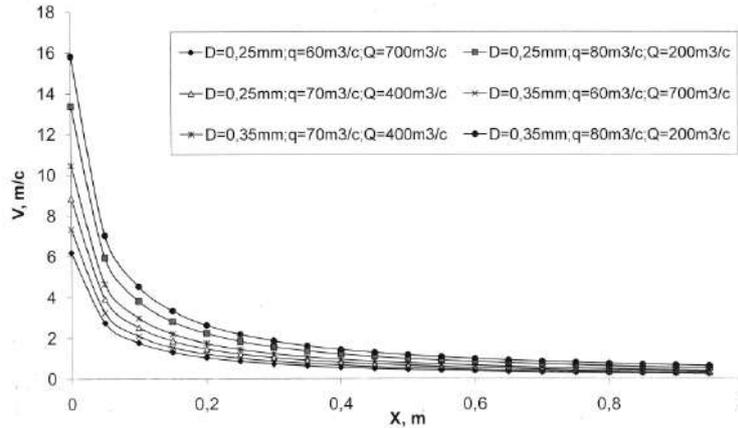


Рисунок 9 – Зависимость скорости для распределителя для круглой струи в зависимости от внешнего диаметра, расхода и расстояния от распределителя

Анализ рисунка 9 показывает, что при уменьшении скорости потока воздуха увеличивается расстояние от распределителя. В данном случае скорость  $v_M=1,5$  м/с представляет собой предельную скорость, т. е. превышение этой скорости может привести к негативным последствиям для оператора: заболеваниям, дискомфорту и прочее. Учитывая, что  $\beta_0=1,1$  – поправочный коэффициент на количество движения в сечении на расстояние  $x$  от отверстия конуса, а начальная скорость на выходе из отверстия равна

$$v_0 = \frac{Q}{F}, \quad (10)$$

объединив все эти формулы в систему уравнений, получим возможность оценить расстояние, на котором скорость воздуха будет равна 1,5 м/с, т.е. то расстояние, на котором уже может находиться оператор и чувствовать себя комфортно.

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = F \cdot v \\ d = \sqrt{\frac{4Q}{3600 \cdot \pi \cdot v}} \\ \overline{v}_M = \frac{v_M}{v_0} \\ \overline{v}_M = \frac{6,45\sqrt{\beta_0}}{x - x_0} \\ F = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \\ v_0 = \frac{Q}{F} \end{array} \right. \quad (11)$$

Упрощаем эту систему, находим формулу для определения относительной координаты

$$\bar{x} = 4778 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{Q \cdot \sqrt{\beta_0}}{\pi \cdot D^2} + x_0. \quad (12)$$

Фактическое расстояние до участка со скоростью 1,5 м/с (заменяем выражением допустимая скорость подачи воздуха в зону дыхания) будет равно

$$x_{\text{факт.}} = \bar{x} \cdot R_0, \quad (13)$$

где  $R_0$  – внешний радиус конуса.

Для исследования процесса теплообмена при вынужденной конвекции определим коэффициент теплоотдачи ( $\alpha$ ) в зависимости от скорости воздуха из распределителя для круглой и кольцевой струи из формул

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{x}, \quad (14)$$

где критерий Нуссельта равен

$$Nu = 0,335 \cdot Re^2 \cdot Pr^{\frac{1}{3}}, \quad (15)$$

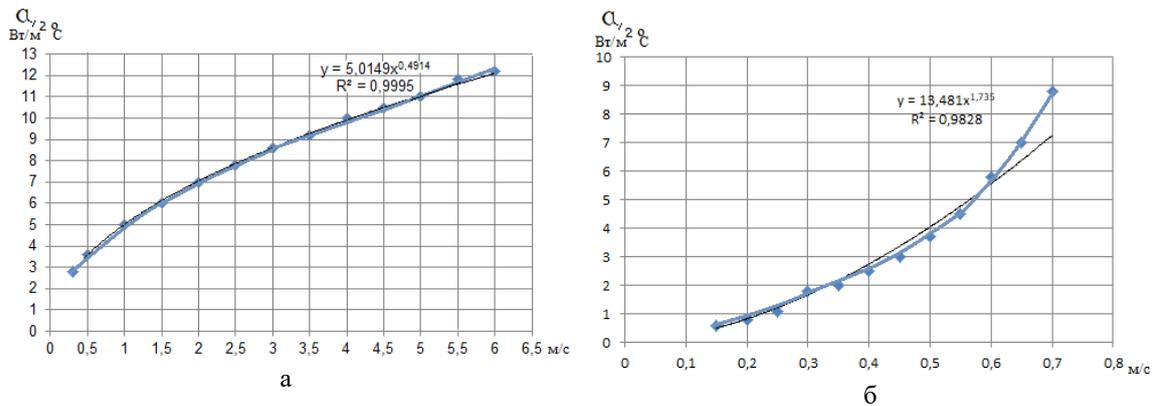
критерий Рейнольдса

$$Re = v_0 \frac{x}{\nu}, \quad (16)$$

критерий Прандтля для воздуха не зависит от температуры и равен

$$Pr = \frac{\nu}{a} \approx 0,737, \quad (17)$$

$\lambda$  – коэффициент теплопроводности для воздуха принимаем при температуре  $t=30^\circ\text{C}$  по справочнику  $\lambda=0,0267 \text{ Вт/м}^\circ\text{C}$ . На рис. 10 представлены график зависимости коэффициента теплоотдачи от скорости воздуха для круглой и кольцевой сеповидной струи.



а – круглая струя; б – кольцевая сеповидная струя

Рисунок 10 – График зависимости коэффициента теплоотдачи от скорости воздуха для круглой и кольцевой сеповидной струи

Из графиков видно, что с увеличением скорости коэффициент теплоотдачи увеличивается, степенная зависимость коэффициента теплоотдачи от скорости воздуха для круглой и кольцевой сеповидной струи имеет высокую степень аппроксимации.

**Заключение.** Таким образом, предлагаемое техническое решение, распределитель потоков воздуха кабины транспортного средства обеспечивает увеличение эффективности манипуляций, которые связаны с кондиционированием воздушных масс. А это, в свою очередь, требуется для того, чтобы операторы различных установок находились в как можно более комфортных условиях

своей работы. Соответствующий результат обеспечивается благодаря нейтрализации таких конвективных потоков, которые формируют турбулентность. Ещё один важный аспект заключается в том, что площадь, которая занята пятном контакта, также возрастает (соответственно, тело водителя начинает более активно вовлекаться в процесс теплового обмена с окружающей его средой). Если размер параметра, который характеризует интенсивность теплоотдачи, продолжает находиться на отметке в  $6,5 \text{ Вт/м}^2$ , при этом воздух выходит со скоростью, составляющей один метр в секунду, количество отдаваемого тепла возрастает более чем в два с половиной раза (относительно изначальных значений).

#### Список источников

1. Авторское свидетельство SU №1556938, кл. В60Н 1/30 Вентиляционное устройство для транспортного средства / Ю.С. Виноградов, В.З. Круглов, Е.Я. Тур; патентообладатель Горьковский сельскохозяйственный институт. № 4469462 заяв. 11.07.1988. опублик. 15.04.1990. Бюл. № 14. 2 с.
2. Авторское свидетельство SU № 975 465, кл В60Н 1/00. Система кондиционирования воздуха для транспортного средства / В.И. Потин, В.В. Соловьев, Л.Н. Сухарев, В.Н. Янковский; патентообладатель В.И. Потин, В.В. Соловьев, Л.Н. Сухарев, В.Н. Янковский. № 331622; заявл. 10.07.1981; опублик. 23.11.1982. Бюл. №43. 6 с.
3. Басыров Р.Р. Выбор конструктивных элементов легкового автомобиля особо малого класса по критерию комфортности воздушной среды в салоне: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / Р.Р. Басыров ; Камский гос. политех. инст-т ; науч. рук. Х. А. Фасхиев. – Набережные Челны, 2005. – 157 с.
4. Журавец И.Б. Солнцезащита кабин мобильных энергетических средств / И.Б. Журавец, С.З. Манойлина. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – 207 с.
5. Журавец И.Б. Стабилизация баланса теплоты в кабине МЭС / И.Б. Журавец, С.З. Манойлина, Н.А. Попов, Е.А. Галкин // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. - 2015. - № 1 (44). С. 48-53.
6. Журавец И.Б. Экологичные системы микроклимата в кабинах мобильных энергетических средств: монография / И.Б. Журавец, М.А. Журавец, С.З. Манойлина. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2015. – 271 с.
7. Манойлина С.З. Оптимальное распределение потоков кондиционированного воздуха в кабине МЭС / С.З. Манойлина, А.В. Ворохобин, Т.Н. Тертычная // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК: материалы междунар. науч.-практ. конф. (Россия, Воронеж, 25 февраля 2022 г.). – Ч.1. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2022. – С. 305-311.
8. Патент на полезную модель № 91695 РФ, МПК В 60 Н. Распределитель потоков воздуха / И.Б. Журавец, Ю.В. Цуцких; патентообладатель И.Б. Журавец, Ю.В. Цуцких. № 2009131909/8; заявл. 24.08.2009; опублик. 27.02.2010. Бюл. № 6. 3 с.
9. Патент на полезную модель № 197713 U1 РФ, МПК В60Н 1/00. Распределитель потоков воздуха кабины транспортного средства / В.А. Гулевский, И.Б. Журавец, С.З. Манойлина, Е.Д. Золотых; патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. № 2020107278: заявл. 17.02.2020 : опублик. 25.05.2020. Бюл. № 15. 8 с.
10. Патент на полезную модель № 217990 U1 РФ, МПК В60Н 3/00. Устройство для устранения теплоизбытков в кабине оператора мобильного энергетического средства / С. З. Манойлина; патентообладатель ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. № 2023102138: заявл. 31.01.2023 : опублик. 24.04.2023 Бюл. № 13. 9 с.
11. Хохлаков В.П. Вентиляция, отопление и обеспыливание воздуха в кабинах автомобилей. - М.: Машиностроение, 1987 г - 152 с.

#### References

1. Author's certificate SU No. 1556938, class B60N 1/30 Ventilation device for a vehicle / Yu.S. Vinogradov, V.Z. Kruglov, E.Ya. Tur; patent holder Gorky Agricultural Institute. No. 4469462 declared 11.07.1988. published 15.04.1990. Bulletin No. 14. 2 p.

2. Copyright certificate SU No. 975 465, class B60N 1/00. Air conditioning system for a vehicle / V.I. Potin, V.V. Solovyov, L.N. Sukharev, V.N. Yankovsky; patent holder V.I. Potin, V.V. Solovyov, L.N. Sukharev, V.N. Yankovsky. No. 331622; application. 07/10/1981; publ. 11/23/1982. Byul. No.43. 6 p.
3. Basyrov R.R. The choice of structural elements of a passenger car of an especially small class according to the criterion of comfort of the air environment in the cabin: dis. ... Candidate of Technical Sciences: 05.05.03 / R.R. Basyrov ; Kama State Polytechnic University. ins-t ; scientific hand of H. A. Fashiev. – Naberezhnye Chelny, 2005. – 157 p.
4. Zhuravets I.B. Sun protection of cabins of mobile energy facilities / I.B. Zhuravets, S.Z. Manulina. – Voronezh: Voronezh State Pedagogical University, 2016. – 207 p.
5. Zhuravets I.B. Stabilization of the heat balance in the MES cabin / I.B. Zhuravets, S.Z. Manoylina, N.A. Popov, E.A. Galkin // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. - 2015. - № 1 (44). Pp. 48-53.
6. Zhuravets I.B. Eco-friendly microclimate systems in cabins of mobile energy facilities: monograph / I.B. Zhuravets, M.A. Zhuravets, S.Z. Manulina. Voronezh: Voronezh State Pedagogical University, 2015. – 271 p.
7. Manojlina S.Z. Optimal distribution of conditioned air flows in the cabin of the MES / S.Z. Manojlina, A.V. Vorokhobin, T.N. Tertychnaya // Trends in the development of technical means and technologies in the agro-industrial complex: materials of the International Scientific and practical Conference (Russia, Voronezh, February 25, 2022). - Part I. – Voronezh: Voronezh State Agrarian University, 2022. – pp. 305-311.
8. Patent for utility model No. 91695 of the Russian Federation, IPC In 60 N. Distributor of air flows / I.B. Zhuravets, Yu.V. Tsutskikh; patent holder I.B. Zhuravets, Yu.V. Tsutskikh. No. 2009131909/8; application. 08/24/2009; publ. 02/27/2010. Byul. No. 6. 3 p.
9. Utility model patent No. 197713 U1 of the Russian Federation, IPC B60N 1/00. Distributor of vehicle cabin air flows / V.A. Gulevsky, I.B. Zhuravets, S.Z. Manulina, E.D. Zolotykh; patent holder of the Voronezh State Agrarian University. No. 2020107278; application. 02/17/2020 ; publ. 05/25/2020. Byul. No. 15. 8 p.
10. Utility model Patent No. 217990 U1 of the Russian Federation, IPC B60N 3/00. A device for eliminating heat surpluses in the cabin of the operator of a mobile energy facility / S. Z. Manulina; patent holder of the Voronezh State Agrarian University. No. 2023102138; application 31.01.2023 ; published 04/24/2023 Issue No. 13. 9 p.
11. Khokhryakov V.P. Ventilation, heating and dedusting of air in car cabins. - M.: Mechanical Engineering, 1987 - 152 p.

#### **Информация об авторах**

С.З. Манойлина – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент; В.И. Оробинский – доктор сельскохозяйственных наук, профессор.

#### **Information about the authors**

S. Manulina – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor; V. Orobinsky – Full Doctor of Agricultural Sciences, Professor.

**Вклад авторов** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**Contribution of the authors:** all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

***The authors declare no conflict of interest.***

Поступила в редакцию (Received): 12.07.2024      Принята к публикации (Accepted): 24.08.2024