

10. Олевский В.А. Наивыгоднейший размер шаров для шаровых мельниц / В.А. Олевский // Горный журнал. – 1984.– № 1.– С. 30-33.
11. Сапожников М.Я. Механическое оборудование предприятий строительных материалов, изделий и конструкций / М.Я. Сапожников. – М.: Высшая школа, 1971. – 382 с.
12. Ханин С.И. Закономерности процесса движения мелющих тел в корпусе шаровой барабанной мельницы / С.И. Ханин, Д.Н. Старченко. Белгород: Белгор. гос. технол. ун-т, 2013. – 209 с.
13. Шарапов Р.Р. Шаровые мельницы замкнутого цикла / С.И. Ханин, Р.Р. Шарапов. Белгород: Белгор. гос. технол. ун-т, 2008. – 299 с.
14. Крюков Д.К. Футеровки шаровых мельниц / Д.К. Крюков. – М.: Машиностроение, 1965. – 184 с.
15. Лурье А.И. Аналитическая механика / А.И. Лурье. – М.: Гл. ред. физмат. лит., 1961.– 824 с.
16. Гантмахер Ф.Р. Лекции по аналитической механике / Ф.Р. Гантмахер. – 2-е изд., испр.– М.: Физматгиз, 1966.– 300 с.

*Шатохин В.М., Дерев'янюк М.І., Гранько Б.Ф., Клименко М.В. ДО ДИНАМІКИ РОТОРНОГО РЕЗОНАНСНОГО КУЛЬОВОГО МЛИНА З ОДНІЄЮ КУЛЕЮ ТА ДВОМА СТЕПЕНЯМИ ВІЛЬНОСТІ.* Виконано структурний аналіз роторного резонансного кульового млина оригінальної конструкції з однією робочою кулею. Складено систему диференціальних рівнянь динаміки кулі; при цьому враховані одна голономна і дві неголономні в'язі кулі. Одержані рівняння динаміки після їх розв'язання, дозволять конструктору виконати розрахунки основних виконавчих параметрів млина.

**Ключові слова:** роторний резонансний млин, виконавча куля сферична, система динамічних диференціальних рівнянь кулі, можливості розрахунку динамічних параметрів.

*Shatokhin V.M., Derevianko M.I., Granko B.F., Klymenko M.V. TO THE DYNAMICS OF A ROTARY BOLL MILL WITH ONE BOLL AND TWO DEGREES OF FREEDOM.* Finished structural of the rotary resonance ball mill of the original construction with the one working ball. Made a system of differential equations for the dynamics of the ball with non-holonomic constraints. **Keywords:** rotor resonance mill, holonomic constraints, non-holonomic constraints, the system of dynamic differential equations of the ball.

DOI: 10.29295/2311-7257-2018-92-2-244-250

УДК 697.4

**Болотских Н.Н.**

*Харьковский национальный университет строительства и архитектуры (ХНУСА)  
Ул. Сумская, 40, г. Харьков, 61002, Украина. E-mail: [tgvtver@gmail.com](mailto:tgvtver@gmail.com)*

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПУШЕК ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ОБОГРЕВА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Описаны современные тепловые пушки, используемые для локального обогрева в строительстве; приведен их анализ и даны рекомендации по дальнейшему эффективному применению.

**Ключевые слова:** тепловая пушка, мобильный нагреватель воздуха, прямой и непрямой нагрев, термостат.

**Введение.** При выполнении строительных, ремонтных и отделочных работ в холодные периоды года для целей локального обогрева достаточно широко используются тепловые пушки (мобильные нагреватели воздуха). Они представляют собой

передвижные либо переносные малогабаритные агрегаты, которые нагревают воздух и подают его к месту производства работ.

Во время строительства различных объектов они эффективно применяются для: локального обогрева небольших по

размерам помещений, отдельных зон или рабочих мест в закрытых либо открытых строящихся помещениях больших и средних размеров, а также сушки свежешелюженного бетона либо оштукатуренных стен и потолков. Например, при их использовании для сушки бетона в прохладную и сырую погоду существенно сокращается время его твердения, что способствует сокращению сроков строительства объектов, особенно монолитных зданий.

Разработкой и выпуском тепловых пушек различных типов, моделей и марок в настоящее время занимается значительное количество компаний, в частности: Master Climate Solutions Group (Италия, Польша) [1], VITALS (Латвия) [2], BIEMMEDUE (Италия) [3], FUBAG (Германия/Китай) [4], SAKUMA (Япония) [5], GRUNHELM (Германия) [6], Дніпро-М (Украина) [7], SYSTEMAIR (Швеция) [8] и др.

Весьма важно проанализировать выпускаемые этими компаниями тепловые пушки и разработать рекомендации по дальнейшему применению в Украине наиболее эффективных и совершенных конструкций таких нагревательных приборов. К сожалению, в отечественной технической литературе системных исследований и обобщений по данной проблеме не имеется. Поэтому настоящая статья и посвящается анализу существующих мобильных нагревателей воздуха (тепловых пушек) и разработке научно-обоснованных рекомендаций по расширению области их эффективного применения в Украине.

**Цель статьи** – расширение области применения наиболее совершенных энергоэффективных мобильных тепловых пушек в строительстве Украины.

**Основное содержание.** Тепловые пушки по назначению делятся на две группы: производственные и бытовые. Производственные применяются в строительстве, промышленности, сельском хозяйстве и т.д., а бытовые, например, в гаражах или при выполнении ремонтных и отделочных работ в небольших бытовых помещениях. Для работы тепловых пушек используются различные виды топлива: дизельное, керосин, сжиженный газ (пропан,

бутан) и электричество. В связи с этим тепловые пушки делятся на три группы: жидкотопливные, газовые и электрические. В свою очередь жидкотопливные делятся на две группы: пушки с прямым и непрямым (закрытым) нагревом воздуха.

Жидкотопливные тепловые пушки с прямым нагревом воздуха выпускаются упомянутыми выше компаниями под торговыми марками: Master [9], VITALS [10] и FUBAG [7]. На рис. 1 представлен общий вид жидкотопливной тепловой пушки с прямым нагревом воздуха торговой марки Master.



Рис. 1. Общий вид жидкотопливной тепловой пушки с прямым нагревом воздуха торговой марки Master.

Ее устройство и принцип работы показаны на рис. 2.



Рис. 2. Принципиальная схема устройства и принципа работы жидкотопливной тепловой пушки с прямым нагревом воздуха.

Эта пушка имеет встроенный топливный бак, упрощенную систему подачи топлива через воздушный насос, камеру сгорания из нержавеющей стали с автоматическим охлаждением, горелку с пневматическим распылением, систему электронного контроля пламени и встроенную плату для автоматического управления.

Под торговой маркой Master выпускается восемь моделей жидкотопливных тепловых пушек с прямым нагревом: Master B35÷ Master B360. Эти нагревательные приборы имеют тепловую мощность, находящуюся в пределах от 10 до 111 кВт. Они обеспечивают подачу теплого воздуха в количестве от 280 до 3300 м<sup>3</sup>/ч. Расход дизельного топлива при их эксплуатации находится в пределах от 0,8 до 8,83 кг/ч. Масса этих тепловых пушек, в зависимости от модели, составляет 19÷110 кг.

Компания VITALS [10] выпускает две модели жидкотопливных тепловых пушек с прямым нагревом: VITALS ДН-200 и VITALS ДН-300. Дизельная пушка ДН-200 имеет тепловую мощность 20 кВт, а ДН-300 – 30 кВт. Они обеспечивают подачу подогретого воздуха в объеме, соответственно, 600 и 720 м<sup>3</sup>/ч. При этом они расходуют, соответственно, 1,7 и 2,5 кг/ч дизельного топлива. Масса этих пушек составляет 19 и 20 кг.

Под торговой маркой FUBAG [4] выпускается восемь моделей жидкотопливных тепловых пушек с прямым нагревом: Fubag Passat 15 м ÷ Fubag Passat 115. Их тепловые мощности находятся в пределах от 15 до 115 кВт. Соответственно, их производительность составляет 350÷4800 м<sup>3</sup>/ч.

Жидкотопливные тепловые пушки торговых марок Master, VITALS и FUBAG характеризуются высокой производительностью, надежностью, эффективностью, безопасностью и простотой эксплуатации и обслуживания. Они рекомендуются для использования в помещениях с хорошей вентиляцией.

Жидкотопливные тепловые пушки с непрямым (закрытым) нагревом воздуха выпускаются упомянутыми выше компаниями под торговыми марками: Master [11], VITALS [10], saKUMa [5] и FUBAG [4].

На рис. 3 представлен общий вид жидкотопливной тепловой пушки с непрямым нагревом воздуха торговой марки Master.

Тепловая пушка такого типа имеет встроенный топливный бак, упрощенную систему подачи топлива через воздушный насос, камеру сгорания из нержавеющей

стали с автоматическим охлаждением, теплообменник для отделения отработанных газов от горячего воздуха, систему электронного контроля пламени и встроенную плату для автоматического управления.



Рис. 3. Общий вид жидкотопливной тепловой пушки с непрямым (закрытым) нагревом воздуха торговой марки Master.

Принципиальная схема устройства и принципа работы такой тепловой пушки представлена на рис. 4.



Рис. 4. Принципиальная схема устройства и принципа работы жидкотопливной тепловой пушки с непрямым нагревом воздуха.

Компанией под торговой маркой Master [11] выпускается четыре модели жидкотопливных тепловых пушек с непрямым нагревом воздуха: Master BV77E, Master BV110E, Master BV170E и Master BV290E. Эти нагревательные приборы имеют тепловые мощности, соответственно, 20, 33, 47 и 81 кВт. Они обеспечивают подачу потока подогретого воздуха в объеме, соответственно, 1550, 1800, 2150 и 3300 м<sup>3</sup>/ч. Расход дизельного топлива при их эксплуатации находится в пределах от

1,67 до 6,8 кг/ч. Масса этих тепловых пушек, в зависимости от мощности, составляет 37÷124 кг.

Компания VITALS [10] выпускает четыре модели жидкотопливных тепловых пушек с закрытым нагревом воздуха: ДНС-201, ДНС-301, ДНС-501 и ДНС-801. Тепловые мощности этих обогревателей, соответственно, составляют: 20, 30, 50 и 80 кВт. Они обеспечивают подачу подогретого воздуха в объеме, соответственно, 500, 760, 2000 и 2000 м<sup>3</sup>/ч. При этом они расходуют, соответственно, 1,7, 2,5, 4,0, 6,4 кг/ч дизельного топлива. Масса этих обогревателей находится в пределах от 23 до 56,7 кг.

Компания saKUMa [5] выпускает одну модель жидкотопливной тепловой пушки с непрямым нагревом воздуха saKUMa SGO-20C. Эта пушка имеет тепловую мощность равную 20 кВт. Она обеспечивает подачу нагретого воздуха в объеме 760 м<sup>3</sup>/ч. Расход дизельного топлива составляет 2 л/ч. Пушка имеет отвод продуктов сгорания с помощью жаростойких гибких труб.

Компанией FUBAG [4] выпускается шесть моделей жидкотопливных тепловых пушек с непрямым (закрытым) нагревом: Fubag Passat 15 AP ÷ Fubag Passat 85H. Их тепловые мощности находятся в пределах от 12 до 84 кВт. Соответственно, их производительности составляют 650÷4500 м<sup>3</sup>/ч.

Описанные выше тепловые пушки с прямым и непрямым нагревом воздуха благодаря полному сгоранию топлива работают в экономном режиме. Они рекомендуются для обогрева в закрытых помещениях больших и средних размеров со средним уровнем вентиляции.

Представляют определенную ценность для практики локального обогрева в строительстве мобильные тепловые пушки, работающие на сжиженном газе. Их выпускают упомянутые выше компании под торговыми марками: Master [12], VITALS [10], SAKUMA [5], GRUNHELM [6] и FUBAG [4].

На рис. 5, для примера, представлены общие виды газовых тепловых пушек торговых марок Master и SAKUMA.



Рис. 5. Общие виды газовых тепловых пушек торговых марок: а) –Master; б) – SAKUMA.

Под торговой маркой Master [12] выпускаются четыре модели газовых тепловых пушек: Master BLP 17M, Master BLP 33M, Master BLP 53M и Master BLP 73M. Тепловые мощности этих обогревателей воздуха составляют, соответственно, 10-16, 18-33, 36-53 и 49-73 кВт. Они обеспечивают подачу подогретого воздуха в объемах, соответственно, 300, 1000, 1450 и 2300 м<sup>3</sup>/ч. При этом они расходуют топлива, соответственно, 1,16, 2,4, 3,78 и 5,02 кг/ч. Масса этих обогревателей воздуха находится в пределах от 6 до 16,8 кг.

Под торговой маркой VITALS [10] выпускаются пять моделей газовых тепловых пушек: GH-151, GH-300, GH-301, GH-500 и GH-501. Их тепловые мощности составляют, соответственно, 15, 30, 30, 50 и 50 кВт. Они обеспечивают подачу подогретого воздуха в объеме, соответственно, 320, 650, 650, 872 и 872 м<sup>3</sup>/ч. При этом они расходуют топлива, соответственно, 1,09, 2,18, 2,18, 3,63 и 3,63 кг/ч. Масса этих обогревателей воздуха находится в пределах от 3,8 до 8,6 кг.

Газовая тепловая пушка торговой марки SAKUMA [5] имеет максимальную

тепловую мощность 15 кВт и производительность 320 м<sup>3</sup>/ч. С ее применением можно обогревать площади до 150 м<sup>2</sup>. Максимальный расход топлива при ее работе составляет 1,1 л/ч.

Компания GRUNHELM [6] выпускает три модели газовых тепловых пушек торговой марки GRUNHELM (GGH-50, GGH-30 и GGH-15). Эти пушки имеют мощности равные, соответственно, 50, 30 и 15 кВт. Они обеспечивают подачу потока подогретого воздуха в объемах, соответственно, 1500, 1000 и 300 м<sup>3</sup>/ч. Средний расход газа при этом составляет: 4,3, 2,52 и 1,11 кг/ч. Их масса составляет, соответственно, 13,8 и 4,9 кг.

Под торговой маркой FUBAG [4] в Китае выпускается девять моделей газовых тепловых пушек: fubag Brise 10÷fubag Brise 80A. Их тепловые мощности находятся в пределах от 10 до 82,1 кВт, а производительности от 300 до 2450 м<sup>3</sup>/ч.

Описанные выше газовые тепловые пушки имеют высокий КПД. Они экономичны и просты в эксплуатации, отличаются высокой производительностью, надежны в работе, прочны и долговечны. Случайные удары или резкие перепады температур не влияют на стабильность их работы. Их корпуса защищены от коррозии. Поэтому их можно использовать во влажных помещениях. Благодаря наличию защитной автоматики газовые тепловые пушки самостоятельно выключаются при недостатке кислорода в помещении или при полном использовании запасов топлива. В настоящее время такие тепловые пушки широко используются на строительных площадках преимущественно для обогрева хорошо вентилируемых помещений, а также для сушки свежешелюженного бетона или оштукатуренных стен и потолков.

В строительстве также широко используются электрические тепловые пушки торговых марок: Дніпро-М [7], Master [13], VITALS [10], saKUMa [5], SYSTEMAIR [8] и FUBAG [4].

На рис. 6, для примера, представлены общие виды пушек торговых марок Дніпро-М и VITALS.



а)



б)

Рис. 6. Общие виды электрических тепловых пушек торговых марок: а) – Дніпро-М; б) – VITALS.

Электрические тепловые пушки представляют собой тепловентиляторы, согревающие воздух с помощью мощных ТЭНов.

Компания Дніпро-М [7] выпускает четыре тепловые электрические пушки под торговой маркой Дніпро-М: две однофазные с максимальными мощностями 2 и 3 кВт и производительностями, соответственно, 200 и 250 м<sup>3</sup>/ч и две трехфазные с максимальными мощностями 5 и 9 кВт и производительностями, соответственно, 335 и 800 м<sup>3</sup>/ч. Масса этих нагревательных приборов находится в пределах от 2,5 до 10,2 кг.

Компания VITALS [10] выпускает электрические тепловые пушки 11 моделей ЕН-20÷ЕН-300. Максимальная мощность этих пушек находится в пределах от 2 до 30 кВт. Они обеспечивают подачу подогретого воздуха в объемах от 156 до 1911 м<sup>3</sup>/ч. Их масса находится в пределах от 1,7 до 32,5 кг.

Компания Master CLIMATE SOLUTIONS Group выпускает восемь моделей

электрических тепловых пушек [13]: Master ВЗЕСА÷Master В22ЕгВ. Их тепловая мощность находится в пределах от 1,5/3 до 11/22 кВт. Они обеспечивают подачу подогретого воздуха в объемах от 288 до 2400 м<sup>3</sup>/ч. Их масса находится в пределах от 5,5 до 22,8 кг.

Компания SAKUMA [5] пускает электрическую тепловую пушку модели Sakuma SGP 1505-03 с тепловой мощностью 3 кВт. Эта пушка обеспечивает обогрев максимальной площади до 30 м<sup>2</sup>. Масса пушки составляет 3,2 кг.

Компания SYSTEMAIR [8] выпускает восемь моделей электрических тепловых пушек марки Systemair серии PRO (PRO 221÷PRO 3043). Их производительности находятся в пределах от 280 до 2600 м<sup>3</sup>/ч.

Компания FUBAG [4] выпускает (в Китае) семь моделей электрических тепловых пушек торговой марки Fubag (Fubag Bora Keramik 20м÷Fubag Bora 150T). Их мощности находятся в пределах от 2 до 15 кВт, а производительности – от 97 до 1700 м<sup>3</sup>/ч.

Описанные выше электрические тепловые пушки мобильны и просты в обслуживании, надежны и эффективны в эксплуатации. С использованием термостатов при работе электрических тепловых пушек обеспечивается получение значительной экономии электроэнергии. Эти пушки являются универсальными мобильными нагревателями воздуха. Они идеально подходят для локального обогрева не только в строительстве, но и во многих других сферах производства и деятельности человека.

Проведенный глубокий анализ выпускаемых зарубежными и отечественными компаниями различных типов, моделей и марок тепловых пушек убедительно подтверждает целесообразность, эффективность и перспективность применения таких мобильных нагревателей воздуха для локального обогрева в строительстве. Эти тепловые агрегаты просты в монтаже, эксплуатации и техническом обслуживании. Они высоко эффективны, надежны, имеют сравнительно невысокую стоимость. Бла-

годаря этим качествам тепловые пушки получают все большее распространение в строительстве.

Возможность применения на строительной площадке тех или иных типов или моделей тепловых пушек определяется прежде всего конкретными условиями, имеющимися на месте производства работ, наличием энергоресурсов для обеспечения их работы, а также ряда других факторов. Окончательный выбор должен базироваться на тщательном технико-экономическом анализе. При этом должно реализовываться главное условие – обеспечение в зоне производства работ необходимого теплового комфорта [14] для работающих людей при минимальных энергетических и финансовых затратах. При дефиците и росте цен на энергоресурсы их экономия в последние годы в Украине приобретает все большую актуальность и значимость.

#### **Выводы**

1. Для целей локального обогрева в прохладные периоды года в строительстве зарубежными и отечественными компаниями выпускается достаточно большое количество тепловых пушек (мобильных нагревателей воздуха) различных типов, моделей и марок. Их эффективное использование позволяет существенно улучшать санитарно-гигиенические условия в рабочих зонах строящихся либо реконструируемых помещений, а также снижать сроки ведения строительных работ.

2. Выбор типа либо модели тепловой пушки для строительной площадки должен базироваться на тщательном технико-экономическом анализе с учетом: конкретных условий, имеющих место при производстве строительных работ, наличия того или иного вида топлива для обеспечения ее работы, а также ряда других факторов. При этом предпочтение отдается той модели тепловой пушки, использование которой обеспечивает создание в зоне ведения работ необходимого теплового комфорта [14] для работающих людей и выполнение определенных технологических операций (например, сушки оштукатуренных стен) с минимальными энергетическими и финансовыми затратами.

**ЛИТЕРАТУРА:**

1. MASTER CLIMATE SOLUTIONS GROUP – производитель климатического оборудования торговой марки MASTER [Электронный ресурс]. Польша, Гондки: Компания Master Climate Solutions. Режим доступа: <http://master-ukraine.com/ua/MCS/>, 2012/. – 5 с.
2. Официальный дилер ВИТАЛІС в Украине [Электронный ресурс]. Латвия: VITALS. Режим доступа: <https://storgom.ua/brand/vitals.html>.
3. Тепловые пушки BIEMMEDUE (Италия) [Электронный ресурс]. Италия: компания BIEMMEDUE. Режим доступа: <http://www.elind.ru/teplotushki/proizvoditeli/biemmedue/>, 2018. – 11 с.
4. Тепловые пушки FUBAG (Китай) [Электронный ресурс]. Германия, Китай: компания FUBAG. Режим доступа: <http://www.elind.ru/teplotushki/proizvoditeli/fubag/>, 2018. – 6 с.
5. Тепловые пушки [Электронный ресурс]. Япония: компания SAKUMA. Режим доступа: <http://ek.ua>, 2018. – 5 с.
6. Тепловые пушки GRUNHELM [Электронный ресурс]. Германия: компания GRUNHELM. Режим доступа: <https://hotline.ua/bt/teplovyepushki/321754/>, 2018. – 4 с.
7. Официальный дилер ДНІПРО-М в Украине [Электронный ресурс]. Украина: ДНІПРО-М. Режим доступа: <https://storgom.ua/brand/dnipro-m.html>, 2018. – 2 с.
8. Тепловые пушки SYSTEMAIR (Швеция) [Электронный ресурс]. Швеция: компания SYSTEMAIR. Режим доступа: <http://www.elind.ru/teplotushki/proizvoditeli/systemair/>, 2018. – 3 с.
9. Нагреватели воздуха с прямым нагревом [Электронный ресурс]. Италия, Польша: компания MASTER CLIMATE SOLUTIONS. Режим доступа: <http://master-ukraine.com/ua/category/nagrevateli-vozduha-s-pjamym-nagrevom/>, 2018. – 5 с.
10. Промышленные обогреватели [Электронный ресурс]. Латвия: VITALS. Режим доступа: <https://vitals.ua>, 2018. – 10 с.
11. Нагреватели воздуха с непрямым нагревом [Электронный ресурс]. Италия, Польша: компания MASTER CLIMATE SOLUTIONS. Режим доступа: <http://master-ukraine.com/ua/category/nagrevateli-vozduha-s-nerjamym-nagrevom/>, 2018. – 6 с.
12. Газовые нагреватели [Электронный ресурс]. Италия, Польша: компания MASTER CLIMATE SOLUTIONS. Режим доступа: <http://master-ukraine.com/ua/category/gazovye-nagrevateli/>, 2018. – 5 с.
13. Электрические нагреватели с вентиляторами [Электронный ресурс]. Италия, Польша: компания MASTER CLIMATE SOLUTIONS. Режим доступа: <http://master-ukraine.com/ua/category/elektricheskie-nagrevateli-s-ventiljatorami/>, 2018. – 5 с.
14. Болотских Н.Н. Формирование теплового комфорта в рабочих зонах помещений с инфракрасным обогревом. [Текст]. 36. «Науковий вісник будівництва», вип. 3(85), Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2016. – с. 194-200.

**Болотських М.М. ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ ГАРМАТ ДЛЯ ЛОКАЛЬНОГО ОБІГРІВУ У БУДІВНИЦТВІ.** Описані сучасні теплові гармати, які використовуються для локального обігріву у будівництві; наведено їх аналіз і дано рекомендації з подальшого ефективного використання.  
**Ключові слова:** теплова гармата, мобільний нагрівач повітря, прямий і непрямий нагрів, термостат.

**Bolotskykh N.N. USE OF THERMAL CANNONS FOR LOCAL HEATING IN BUILDING.** The modern thermal cannons used for the local heating in building are described; their analysis over is brought and recommendations are given on further effective application.

**Keywords:** thermal cannon, mobile heater of air, to the line and unline heating, thermostat.