

## ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И ОСВЕЩЕНИЕ

УДК 697.952.2

*КУРИЛЕНКО НИКОЛАЙ ИЛЬИЧ, канд. физ.-мат. наук, профессор,  
kurilenkoni@mail.ru,*

*МИХАЙЛОВА ЛАРИСА ЮРЬЕВНА, канд. техн. наук, доцент,  
kurilenkoni@mail.ru,*

*КУРИЛЕНКО ЕЛЕНА ЮРЬЕВНА, канд. физ.-мат. наук, доцент,  
ksmeh@tgasu.ru*

*Тюменский государственный архитектурно-строительный  
университет,*

*625001, г. Тюмень, ул. Луначарского, 2*

*АРТАМОНОВ ПАВЕЛ АЛЕКСАНДРОВИЧ, аспирант,  
p.artamonov@yandex.ru*

*ООО «МАКСТЕРМ»,*

*625047, г. Тюмень, ул. Володарского, 14*

### **ПАРАМЕТРЫ ЭФФЕКТИВНОЙ РАБОТЫ ДЕФЛЕКТОРОВ В БЛОЧНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ КОТЕЛЬНЫХ**

Представлены основные особенности воздушного режима блочных автоматизированных котельных. Приведена зависимость разрежения в котельной от рабочей мощности котла. Приведены аналитические зависимости параметров работы дефлекторов круглого и прямоугольного сечения. Рассчитана эффективность работы общеобменной вентиляции с использованием дефлекторов. Проанализированы причины нерасчетных режимов работы дефлекторов. Предложены мероприятия по организации общеобменной вентиляции в блочных автоматизированных котельных.

**Ключевые слова:** воздухообмен; воздушный режим; дефлекторы; блочно-модульные котельные; режим вентиляции; естественная вентиляция.

*NIKOLAI I. KURILENKO, PhD, Professor,  
kurilenkoni@mail.ru*

*LARISA Yu. MIKHAILOVA PhD, A/Professor,  
kurilenkoni@mail.ru*

*ELENA Yu. KURILENKO PhD, A/Professor,  
ksmeh@tgasu.ru*

*Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering,  
2, Lunocharskii Str., 625001, Tyumen, Russia*

PAVEL A. ARTAMONOV Research Assistant,  
p.artamonovv@yandex.ru  
ООО MAXTERM,  
14, Volodarskii Str., 625000, Tyumen, Russia

## PERFORMANCE PARAMETERS OF DEFLECTORS IN MODULAR BOILER HOUSES

The paper presents main features of air conditions of modular automated boiler houses. The dependence between the subatmospheric pressure in the boiler house and operating capacity of the boiler and analytical dependences of deflector operating parameters of round and rectangular sections are shown in this paper. The causes of off-design modes of operation are described for deflectors as well as measures that should be taken for the arrangement of the whole-volume ventilation in modular boiler houses.

**Keywords:** air exchange; air conditions; deflectors; modular boiler houses; ventilation mode, natural ventilation.

Данная работа посвящена применению дефлекторов в системе воздухообмена в зданиях современных автоматизированных блочно-модульных котельных.

До недавнего времени понятие «котельная» подразумевало здание с явными избытками теплоты и большими габаритами. В таких зданиях применение дефлекторов в системе общеобменной вентиляции с естественным побуждением является проверенным решением.

В настоящее время широкое распространение, особенно в районах с экстремальными климатическими условиями, получили автоматизированные транспортабельные блочно-модульные котельные. Малые габариты зданий таких котельных и применение теплогенераторов с дутьевыми газовыми или комбинированными горелками требуют более тщательной проработки проектных решений организации общеобменной вентиляции с использованием дефлекторов.

Рассмотрим специфику организации воздушного режима данного типа котельных. Воздух, необходимый для сжигания топлива, забирается непосредственно из помещения, где установлены котлы. Из-за малых габаритов и относительно небольшого свободного объёма помещения имеет место быть очень высокая подвижность воздуха. В результате работы вентиляторов горелок в помещении создаётся разрежение, величину которого можно определить как потери давления на приточных отверстиях.

Для систем вентиляции подбор приточных решёток осуществляется по величине площади живого сечения, которая определяется по формуле [1, с. 105], м<sup>2</sup>

$$F_{ж.с} = \frac{L}{3600 \cdot v}, \quad (1)$$

где  $v$  – скорость воздуха, м/с;  $L$  – расход воздуха, м<sup>3</sup>/ч.

В этом случае определяющим (и нормируемым) параметром является скорость воздуха в вентиляционном проеме. Но для автоматизированных ко-

тельных нет ограничений по подвижности воздуха, поэтому скорость воздуха может и не быть лимитирующим фактором при определении живого сечения приточного отверстия. Производитель котельного оборудования компания BOSH (производит котлы BOSH, LOOS, Buderus) на практике применяет другой лимитирующий фактор, а именно установочную мощность котельной. В таблице приводятся зависимости для определения живого сечения приточных отверстий, взятые из технической документации компании BOSH [2, с. 67]:

**Зависимости площади живого сечения приточных отверстий от рабочей мощности котла**

Группа котлов	Мощность котла, кВт	Живое сечение приточного отверстия $F_{ж.с.}$ , м <sup>2</sup>
GR 1	$Q_k \leq 2000$	$[300 + (Q_k - 50) \times 2,5] / 10000$
GR 2	$2000 < Q_k \leq 20000$	$[5175 + (Q_k - 2000) \times 1,75] / 10000$
GR 3	$20000 < Q_k$	$[36675 + (Q_k - 2000) \times 0,88] / 10000$

Примечание.  $Q_k$  – установленная производительность работающих котлов, кВт.

Разрежение в котельной определяется по формуле [3, с. 94]

$$\Delta P_{кот} = \sum \xi_{пр} \frac{v^2 \rho_{н.в.}}{2}, \tag{2}$$

где  $\Delta P_{кот}$  – разрежение в помещении котельной, Па;  $\sum \xi_{пр}$  – сумма коэффициентов местных сопротивлений на приточных отверстиях (жалюзийные решетки, утепленные и обратные клапаны и т. д.);  $\rho_{н.в.}$  – плотность наружного воздуха, кг/м<sup>3</sup>.

Данная величина разрежения является не постоянной и зависит от диапазона нагрузки, в котором работает горелка. Рассмотрим пример работы котла мощностью 3 МВт, в котором в качестве топлива сжигается природный газ с низшей теплотой сгорания, равной 36 000 кДж/м<sup>3</sup>. КПД котла – 92 %. Диапазон работы котла – 40–100 % установленной мощности. Тогда с учётом таблицы и формул (1) и (2), согласно [4], можно записать

$$\Delta P_{кот} = \frac{\sum \xi_{пр} \rho_{н.в.}}{2} \left( \frac{10000 \cdot Q_k \cdot A \cdot \alpha \cdot V_0}{B \cdot Q_{н.п} \cdot \eta [5175 + 1,75 (Q_k - 2000)]} \right)^2, \tag{3}$$

где  $A$  – доля использования рабочей тепловой мощности  $Q_k$ ;  $\alpha$  – коэффициент избытка воздуха, для примера принимаем 1,25;  $V_0$  – теоретически необходимое количество воздуха для сжигания 1 м<sup>3</sup> топлива, для примера принимаем 11,0 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;  $Q_{н.п}$  – низшая теплота сгорания топлива, принимаем 36 000 кДж/м<sup>3</sup>;  $B$  – коэффициент, учитывающий фабричные размеры установленных решеток [4], принимаем равным 1;  $\eta$  – КПД котла в долях (для данного примера принят 0,92);  $\sum \xi_{пр}$  принимаем равной 3 (сумма коэффициентов местных сопротивлений жалюзийной решетки и утепленного клапана).

Зависимость изменения величины разрежения от доли используемой установленной мощности котла при постоянной температуре наружного воздуха (минус 40 °С) показана на рис. 1.

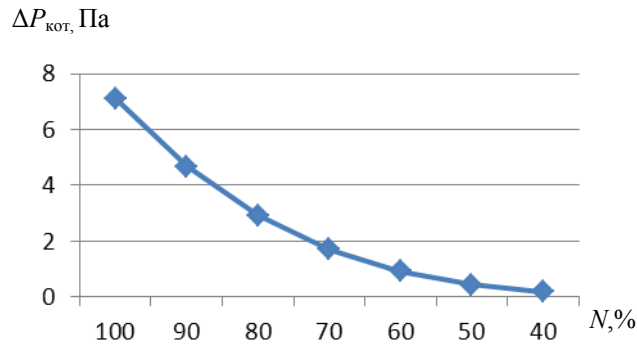


Рис. 1. Зависимость изменения величины разрежения от доли используемой установленной мощности котла, вычисленная по (3)

Согласно представленному графику, зависимость разрежения от режима работы котла существенна. Таким образом, чтобы снизить вероятность «опрокидывания циркуляции», необходимо подбирать дефлектор для обеспечения расчётного расхода воздуха на общеобменную вентиляцию при максимальной нагрузке на котёл. Необходимо понимать также значимость двух факторов: первый – это то, что действие дефлектора в помещениях с большой высотой во многом гарантировано гравитационной составляющей, которая прямо пропорциональна высоте здания, второй – воздухопроницаемость: в больших зданиях высока вероятность «неплотностей» строительных конструкций, и, как следствие, разрежение компенсируется подсосом воздуха через «неплотности». В блочных котельных эти факторы минимизированы, т. к. разница между высотой приточного отверстия и верхней частью дефлектора не превышает 2–3 м, а технология сборки стен из сэндвич-панелей минимизирует несанкционированный подсос воздуха.

Опишем работу дефлектора. Наиболее распространёнными являются дефлекторы конструкции ЦАГИ. Для расчета располагаемого разрежения, создаваемого дефлектором, аппроксимируем графики зависимости отношения скорости воздуха в канале дефлектора к скорости ветра, обдувающего дефлектор, и отношения разрежения, создаваемого дефлектором, и ветрового подпора, приведенные в работе [5, с. 461]. Полученные уравнения аппроксимации, приняв  $P_d/P_v = y$ ,  $V_d/V_v = x$ , можно записать в следующем виде:

– для круглого сечения дефлектора

$$y = -14,583x^4 + 10,602x^3 - 1,3681x^2 - 1,0427x + 0,5498, \quad (4)$$

$$R^2 = 0,9999;$$

– для квадратного сечения дефлектора

$$y = -0,5714x^2 - 0,6714x + 0,3906, \quad (5)$$

$$R^2 = 0,9997,$$

где  $P_d$  – разрежение, создаваемое в дефлекторе ветром, Па;  $P_v$  – скоростное давление ветра, Па;  $R^2$  – величина достоверности аппроксимации;  $V_v$  – скорость ветра, м/с;  $V_d$  – скорость воздуха в патрубке дефлектора, м/с.

Зная скорость ветра,  $V_d$  следует принимать в наиболее эффективных пределах работы дефлектора:  $(0,2-0,4) V_v$  [5, с. 170].

Располагаемое разрежение под действием ветрового давления можно записать, преобразуя формулу (15.3) из работы [5, с. 461]:

$$P_d = y \cdot \rho_{н.в} \frac{v^2}{2}. \quad (6)$$

Учитывая объем только одного бокса характерного размера для котла мощностью 3 МВт [6], приняв температуру внутри помещения 20 °С, можно осуществить подбор дефлектора на худшие условия работы: работа котла на полную мощность и отсутствие ветра. Подходящим является модель дефлектора типа ЦАГИ диаметром 300 мм, установленного на высоте 1,5 м от уровня крыши. Характеристика расхода воздуха в зависимости от перепада давления на данном дефлекторе высотой 1,5 м представлена на рис. 2.

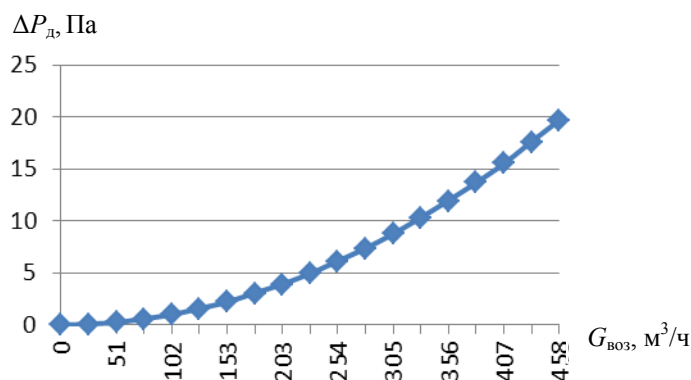


Рис. 2. Характеристика расхода в зависимости от перепада давления на дефлекторе Ду 300 типа ЦАГИ

При этом работу дефлектора с учетом факторов, влияющих на фактический располагаемый напор, можно записать:

$$\begin{cases} P_d = 0, \text{ при } V_v = 0 \text{ и } \rho_{н.в} = \rho_{в.н}, \\ P_d = P_{\text{грав}}, \text{ при } V_v = 0, \\ P_d = P_{d\text{min}}, \text{ при } (\rho_{н.в} - \rho_{в.н}) = \text{min} \text{ и } V_v = 0, \\ P_d = P_{d\text{max}}, \text{ при } (\rho_{н.в} - \rho_{в.н}) = \text{max} \text{ и } V_v = \text{max}, \\ P_d \in (P_{d\text{min}}, 0) \cup (0, P_{d\text{max}}), \text{ при } (\rho_{н.в} - \rho_{в.н}) \neq 0 \text{ и } V_v \neq 0, \end{cases} \quad (7)$$

где  $P_{\text{грав}}$  – гравитационное давление, создаваемое перепадом плотностей, Па;  $V_{\text{в}}$  – скорость ветра на заданной высоте, определяемая по формуле [6], м/с

$$V_{\text{в}} = V \left( \frac{H_1}{H_0} \right)^k, \quad (8)$$

где  $V$  – нормативное значение скорости ветра, м/с;  $H_1$  – заданная высота установки дефлектора, м;  $H_0$  – высота флюгера, по которому определено нормативное значение  $V_0$ , м;  $k$  – коэффициент, являющийся функцией потерь энергии в зависимости от шероховатости поверхности земли (с высокой степенью точности можно определить согласно [7–9]).

Согласно уравнениям (7), можно сделать вывод, что невозможно осуществить подбор дефлектора, который бы обеспечивал постоянство расхода, т. к. расчетному положению соответствует только одна точка при конкретном давлении (рис. 2). В случае отклонения параметров от расчетных возможно два варианта: в первом случае, если располагаемое давление ниже расчетного, или не будут выполнены требования по кратности воздухообмена, или будет наблюдаться «опрокидывание циркуляции» и холодный воздух начнет поступать неорганизованно, что в конечном счете повлияет на эффективность работы котлов [10], приведет к обмерзанию оборудования и приборов и отразится на безопасности работы; во втором случае, когда располагаемое давление выше расчетного (в случае перегрева верхней зоны или сильных порывов ветра), наблюдается перерасход тепла на отопление, т. е. опять же снижается эффективность работы котельной.

По данным рис. 2 для обеспечения расчетного расхода на однократную общеобменную вентиляцию на дефлекторе должно быть создано разрежение 0,78 Па. При работе горелки в режиме максимальной нагрузки разрежение, создаваемое горелкой, равно 7,12 Па, при минимальной нагрузке – 0,18 Па, т. е. дефлектор должен создавать разрежение 7,9 Па.

Подбирая дефлектор на разрежение, создаваемое горелкой при полной нагрузке, мы получаем систему, в которой при переходе горелки на меньшую мощность наблюдается увеличение расхода тепла на нужды отопления, т. к. увеличивается расход на общеобменную вентиляцию. В расчетном примере при переходе горелки с полной мощности на мощность в 40 % перерасход воздуха составил 218 %, т. е. вместо однократного мы получаем трехкратный воздухообмен, или, если учитывать факторы изменения скорости ветра, кратность может возрасти в разы. Так, для расчетного примера при увеличении скорости ветра до 15 м/с при прочих постоянных условиях излишние потери тепла на общеобменную вентиляцию достигают 28 кВт, что составляет почти один процент от КПД котла.

Увеличение тепловых потерь, с одной стороны, противоречит принципам энергоэффективности, а с другой стороны, повышает безопасность эксплуатации, т. к. с увеличением кратности уменьшается вероятность образования взрывоопасных смесей. Наиболее неблагоприятен вариант, когда при выборе дефлектора не были учтены наиболее неблагоприятные условия работы, что, в свою очередь, может повлечь «опрокидывание циркуляции». В этом

случае, помимо снижения КПД котла за счет низкой температуры воздуха в неорганизованном притоке [10], высока вероятность обмерзания оборудования и средств автоматики безопасности, что, в свою очередь, недопустимо в автономных источниках тепла. Именно ситуация с опрокидыванием циркуляции встречается достаточно часто.

Таким образом, применение дефлекторов для системы общеобменной вентиляции блочных автоматизированных котельных является весьма не эффективной мерой с точки зрения энергосбережения и снижает безопасность работы данного типа производственного сооружения. То есть, средствами естественной вентиляции весьма сложно обеспечить необходимые параметры работы в блочных автоматизированных котельных. Согласно нормативно-технической документации, в случае если невозможно организовать естественную вентиляцию, необходимо использовать механическую систему вентиляции. Данное решение вполне оправданно, поскольку полностью исключает возможность опрокидывания вентиляции и вместе с тем обеспечивает требования по кратности воздухообмена.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дроздов, В.Ф. Отопление и вентиляция. Часть II. Вентиляция / В.Ф. Дроздов. – М. : Высшая школа, 1984. – 262 с.
2. Документация для проектирования «Bosch». Термотехника. – 187 с. – Условия доступа : <http://www.buderus.ru/infocenter/dokumentacija-i-sertifikaty/>.
3. Каменев, П.Н. Вентиляция / П.Н. Каменев, Е.И. Тертичник. – М. : Изд-во АСВ. – 2008. – 616 с.
4. Куриленко, Н.И. Методика определения величины разрежения в помещении блочных автоматизированных котельных / Н.И. Куриленко, Л.Ю. Михайлова, П.А. Артамонов // Приволжский научный журнал. – 2015. – № 2. – С. 64–71.
5. Кукин, П.П. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств / П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Н.Л. Пономарев, Н.И. Сердюк. – М. : Высшая школа. – 2007. – 336 с.
6. Куриленко, Н.И. Организация воздушных потоков для повышения эффективности работы блочных автоматизированных котельных / Н.И. Куриленко, Л.Ю. Михайлова, П.А. Артамонов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2014. – № 4. – С. 171–178.
7. Голубенко, Н.С. О зависимости скорости ветра от высоты с учетом рельефа местности / Н.С. Голубенко, С.И. Довгалюк, А.М. Фельдман, В.Б. Худик. – Условия доступа : <http://wind.dp.ua/>.
8. Justus, C.G. Height Variations of Wind Speed and Wind Distributions Statistics / C.G. Justus, A. Mikhail // Geophy. Res. Letters. – 1976. – № 3. – P. 251–264.
9. Newstein, H. An Automated Meteorological Instrumentation and Observing System in a 1000 ft TV Tower, Drexel Univ., Final Report, ESSA/SDO Contract Cwb. – 11038, 1976.
10. Куриленко, Н.И. Особенности воздушного режима блочных автоматизированных котельных установок / Н.И. Куриленко, Л.Ю. Михайлова, П.А. Артамонов // Приволжский научный журнал. – Нижний Новгород. – 2014. – № 2. – С. 116–119.

#### REFERENCES

1. Dроздов V.F. Oтопление i ventilyatsiya. Chast' II Ventilyatsiya [Heating and ventilation. Part II Ventilation]. Moscow : Vysshaya Shkola Publ., 1984. 262 p. (rus)

2. *Dokumentatsiya dlya proektirovaniya Bosch. Termotekhnika* [Documentation for Bosh design]. 187 p. Available at: <http://www.buderus.ru/infocenter/dokumentacija-i-sertifikaty> (rus)
3. *Kamenev P.N., Tertichnik E.I., Ventilyatsiya: uchebnoe posobie* [Ventilation. Tutorial]. Moscow : ASV Publ., 2008. 616 p. (rus)
4. *Kurilenko N.I., Mikhailova L.Yu., Artamonov P.A. Metodika opredeleniya velichiny razrezheniya v pomeshchenii blochnykh avtomatizirovannykh kotel'nykh* [Method of determining the value of subatmospheric pressure in modular automated boiler rooms]. *Privolzhsky Scientific Journal*. 2015. No. 2. Pp. 64–71. (rus).
5. *Kukin P.P., Lapin V.L., Ponomarev N.L., Serdyuk N.I. Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti. Bezopasnost' tekhnologicheskikh protsessov i proizvodstv* [Health and safety. Safety of technological processes and production]. Moscow : Vysshaya Shkola Publ., 2007. 336 p. (rus)
6. *Kurilenko N.I., Mikhailova L.Yu., Artamonov P.A. Organizatsiya vozdushnykh potokov dlya povysheniya effektivnosti raboty blochnykh avtomatizirovannykh kotel'nykh* [United air flow to improve performance of block automated boiler]. *Vestnik TSUAB*. 2014. No. 4. Pp. 171–178. (rus).
7. *Golubenko N.S., Fel'dman A.M., Dovgalyuk S.I., V.B. Khudik., O zavisimosti skorosti vetra ot vysoty s uchetom rel'efa mestnosti* [Wind speed and height dependence and land configuration]. Available at : <http://wind.dp.ua> (rus).
8. *Justus C.G., Mikhail A. Height variations of wind speed and wind distributions statistics, Geophy. Res. Letters*, 1976. No. 3. Pp. 251–264.
9. *Newstein H., An automated meteorological instrumentation and observing system in a 1000 ft TV Tower, Drexel Univ., Final Report, ESSA/SDO Contract Cwb. 1976. 11038 p.*
10. *Kurilenko N.I., Mikhailova L.Yu., Artamonov P.A. Osobennosti vozdushnogo rezhima blochnykh avtomatizirovannykh kotel'nykh ustanovok* [Air conditions in modular automated boiler installations]. *Privolzhsky Scientific Journal*. 2014. No. 2. Pp. 116–119. (rus).