

# ІТМО

**К.Макатов, С.С. Муравейников**

## **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЯЦИОННОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ОСУШЕНИЯ ВОЗДУХА**



**Санкт-Петербург  
2022**

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

**К. Макатов, С.С. Муравейников**  
**ПРОЕКТИРОВАНИЕ**  
**ВЕНТИЛЯЦИОННОГО АГРЕГАТА**  
**ДЛЯ ОСУШЕНИЯ ВОЗДУХА**

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ  
ИТМО

по направлению подготовки 16.03.03 Холодильная, криогенная  
техника и системы жизнеобеспечения  
в качестве Учебно-методического пособия для реализации основных  
профессиональных образовательных программ высшего образования  
бакалавриата

**ИТМО**

Санкт-Петербург  
2022

Макатов К., Муравейников С.С., Проектирование вентиляционного агрегата для осушения воздуха– СПб: Университет ИТМО, 2022. – 48 с.

Рецензент(ы):

Сулин Александр Борисович, доктор технических наук, профессор (квалификационная категория "ординарный профессор") образовательного центра "Энергоэффективные инженерные системы", Университета ИТМО.

В курсовой работе выполняется расчет режимов осушения воздуха приточно-вытяжной установкой в помещении с высоким содержанием влаги.

The logo of ITMO University, consisting of the letters 'ITMO' in a bold, black, sans-serif font. The 'I' and 'T' are connected, and the 'O' is a solid circle.

**Университет ИТМО** – ведущий вуз России в области информационных и фотонных технологий, один из немногих российских вузов, получивших в 2009 году статус национального исследовательского университета. С 2013 года Университет ИТМО – участник программы повышения конкурентоспособности российских университетов среди ведущих мировых научно-образовательных центров, известной как проект «5 в 100». Цель Университета ИТМО – становление исследовательского университета мирового уровня, предпринимательского по типу, ориентированного на интернационализацию всех направлений деятельности.

© Университет ИТМО, 2022

© Макатов К., Муравейников С.С., 2022

## Содержание

|  |    |
|--|----|
| Введение.....  | 4  |
| 1. Исходные данные.....  | 5  |
| 2. Осушение в летний период времени.....   | 6  |
| 2.1 Режим полного замещения.....   | 6  |
| 2.2 Определение необходимого расхода воздуха .....                                   | 6  |
| 2.3 Расчет холодопроизводительности при не достаточном осушающем<br>потенциале ..... | 7  |
| 2.4 Расчет эффективности рекуператора .....  | 8  |
| 3. Расчет режима рециркуляции.....   | 10 |
| 3.1 Расчет требуемой холодопроизводительности .....                                  | 10 |
| 4. Расчет переходного режима.....  | 13 |
| 5. Расчет и компоновка приточно-вытяжной установки .....                             | 15 |
| 5.1 Компоновка приточно-вытяжной установки .....                                     | 15 |
| 5.2 Подбор вентилятора.....  | 15 |
| 5.3 Подбор водяного калорифера .....   | 17 |
| 5.4 Узлы регулирования .....   | 20 |
| 5.5 Подбор рекуператора.....   | 21 |
| 5.7 Подбор компрессора .....   | 23 |
| 5.8 Подбор компонентов теплового насоса .....  | 25 |
| Приложение 1. Индивидуальные задания по вариантам .....                              | 31 |
| Приложение 2. Технические характеристики вентиляторов .....                          | 32 |
| Приложение 3. Характеристики водяных калориферов кск.....                            | 41 |
| Приложение 4. Расходные характеристики узлов регулирования.....                      | 42 |
| Литература .....   | 44 |

## ВВЕДЕНИЕ

В курсовой работе выполняется расчет режимов осушения воздуха приточно-вытяжной установкой в помещении с высоким содержанием влаги. Схема приточно-вытяжной установки представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Схема приточно-вытяжной установки

Перемещение воздуха происходит с помощью вентиляторов. Количество подаваемого воздуха из окружающей среды изменяется заслонками. Встречные потоки обмениваются теплом в рекуператоре, и при необходимости приточный воздух подогревается в водяном нагревателе.

В установке используется тепловой насос, состоящий из компрессора, конденсатора и испарителя. Так, конденсатор нагревает приточный воздух с низкой температурой, отдавая тепло, созданное при работе. А на поверхности испарителя конденсируется влажный пар, это позволяет осушать воздух в режимах полной или частичной рециркуляции.

Работа оформляется в виде расчетно-пояснительной записки, состоящей из расчетной и графической части. В пояснительную записку входят следующие разделы:

1. Введение;
2. Исходные данные;
3. Расчет процессов обработки воздуха;
4. Подбор компонентов вентиляционного агрегата;
5. Подбор компонентов фреонового контура.

Графический материал представляется на листах формата А4 внутри пояснительной записки и включает построение процессов обработки воздуха на I-d диаграмме. Также представляется лист спецификации с подобранными компонентами приточно-вытяжного аппарата и фреонового контура. В конце записки приводится список литературы.

## 1. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Чтобы рассчитать режимы работы вентиляционно-осушительной установки, требуется знать индивидуальные исходные данные для расчета, указанные в приложении 1:

- Название населенного пункта, в котором расположен бассейн;
- Влаговыведение в дневное время  $W_{д}$ , л/ч;
- Влаговыведение в ночное время  $W_{н}$ , л/ч;
- Минимальная доля свежего воздуха  $n_{min}$ , %;
- Напор вентиляторов  $P_{в}$ , Па.

Общие для всех вариантов приложения 1 исходные данные:

- Параметры воздуха в помещении  $t_{в} = 30^{\circ}\text{C}$ ,  $\varphi_{в} = 60\%$ ,  $d_{в} = 16$  г/кг,  $h_{в} = 71$  кДж/кг;
- Максимальный допустимый расход воздуха  $L_{max} \leq 25000$  м<sup>3</sup>/ч;
- Расход воздуха на вытяжке равен расходу воздуха на притоке;
- Расход воздуха в ночном режиме эксплуатации  $L_{н} = 0,5L_{max}$ ;
- Температура приточного воздуха после рекуператора в условиях зимней эксплуатации  $t_{п1}^3 = 0^{\circ}\text{C}$ ;
- Температура поверхности испарителя  $t_{х} = 10^{\circ}\text{C}$  ( $\varphi_{х} = 100\%$ );
- Плотность воздуха в расчетах  $\rho = 1,16$  кг/м<sup>3</sup>;
- Теплопритоки от людей и через ограждение в расчете не учитываются;
- Температура  $t_{з}^н$  в режиме полной рециркуляции может превышать  $t_{в}$ .

# 1. ОСУШЕНИЕ В ЛЕТНИЙ ПЕРИОД ВРЕМЕНИ

## 1.1 Режим полного замещения

Режим полного замещения (см. рисунок 2) используется в теплый период года.

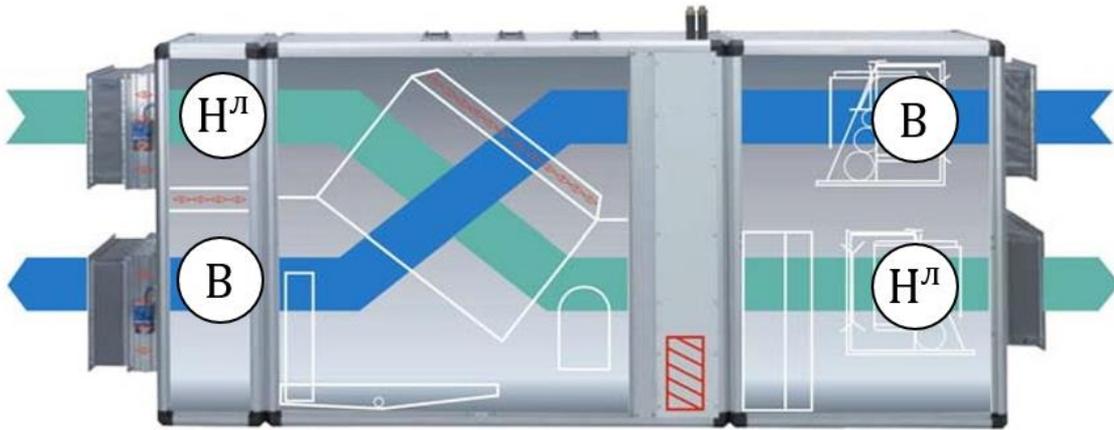


Рисунок 2 – Схема обработки воздуха в режиме полного замещения

Осушение воздуха происходит с помощью наружного воздуха. Заслонка камеры смешения закрыта. Наружный воздух попадает в рекуператор, где происходит его нагрев с помощью воздуха, удаляемого из помещения, затем, при необходимости, воздух подогрывается до нужной температуры в конденсаторе теплового насоса. Воздух, забираемый из помещения, проходит последовательно через вытяжную часть рекуператора и фреоновый испаритель, где охлаждаясь, отдаёт тепловую энергию поступающему воздуху из окружающей среды и хладагенту в испарителе.

Тепловой насос не используется, если температура приточного воздуха выше или равна температуре в помещении. Регулирование температуры происходит посредством управления производительностью теплового насоса.

## 2.2 Определение необходимого расхода воздуха

Расход воздуха определяется исходя из осушающего потенциала летнего воздуха для открытого режима работы. Для этого потребуется выполнить следующие шаги.

В СП 131.13330.2018 [1, таблица 4.1] найти населенный пункт согласно индивидуальному заданию, выписать значения температуры воздуха, °С, обеспеченностью 0,98 и среднемесячную относительную влажность воздуха в 15 ч наиболее теплого месяца. Определить параметры  $h_{н}^л$  и  $d_{н}^л$ . Максимальное отклонение  $d_{н}^л$  не более 0,2 г/кг;

Для определения энтальпии и влагосодержания воздуха потребуется использовать *i-d* диаграмму [2]. На *i-d* диаграмме обозначить точкой Н<sub>л</sub> параметры наружного воздуха, как показано на рисунке 4.

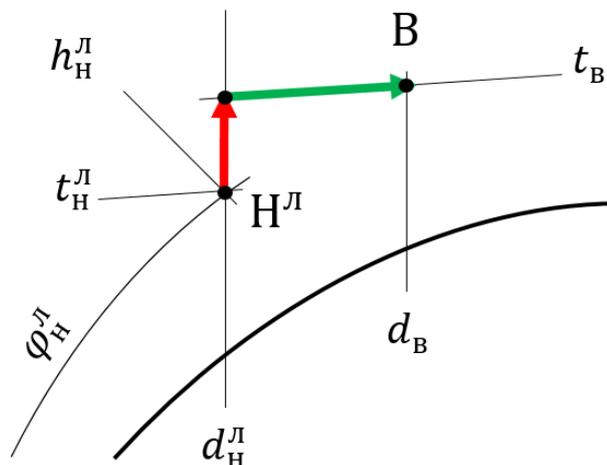


Рисунок 4 - Процесс обработки воздуха в летний период времени без использования холодильной машины

Нанести на *i-d* диаграмму точку с параметрами воздуха в помещении (точка В). Рассчитать осушающий потенциал наружного воздуха летом:

$$\Delta d_{л} = d_{в} - d_{н}^л.$$

Рассчитать необходимый расход наружного воздуха для компенсации влаговыведения летом:

$$L_{max} = \frac{1000 \cdot W_{д}}{\Delta d_{л} \cdot \rho}.$$

Рассчитать минимальную допустимую разницу влагосодержаний:

$$\Delta d_{min} = \frac{1000 \cdot W_{д}}{L_{max} \cdot \rho}.$$

Рассчитать массовый расход воздуха днем:

$$G_{max} = \frac{L_{max} \cdot \rho}{3600}.$$

### 2.3 Расчет холодопроизводительности при не достаточном осушающем потенциале

Если осушающий потенциал летнего воздуха недостаточен ( $\Delta d_{л} < 0$  или рассчитанное значение  $L_{max} > 25000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ), то в открытом режиме работы установки задействуется холодильная машина в реверсивном режиме. Для расчета холодопроизводительности требуется выполнить следующие действия.

Рассчитать требуемое влагосодержание подаваемого в помещение воздуха при  $L_{\max} = 25000 \text{ м}^3/\text{ч}$  и нанести линию  $d_{\text{хл}} = \text{const}$  на  $h-d$  диаграмму, рисунок 5:

$$d_{\text{хл}} = d_{\text{в}} - \Delta d_{\text{min}}.$$

Построить луч процесса от точки  $\text{Н}^{\text{л}}$  к точке  $\text{X}$ , на пересечении этого луча процесса и линии  $d_{\text{хл}} = \text{const}$  нанести точку  $\text{П}_1^{\text{л}}$  и определить её энтальпию  $h_{\text{п1}}^{\text{л}}$ .

Рассчитать необходимую для осушения воздуха холодопроизводительность в летнем режиме:

$$Q_{\text{хл}} = G_{\max}(h_{\text{н}}^{\text{л}} - h_{\text{п1}}^{\text{л}}).$$

Процесс осушения воздуха в летний период времени с использованием холодильной машины показан на рисунке 5.

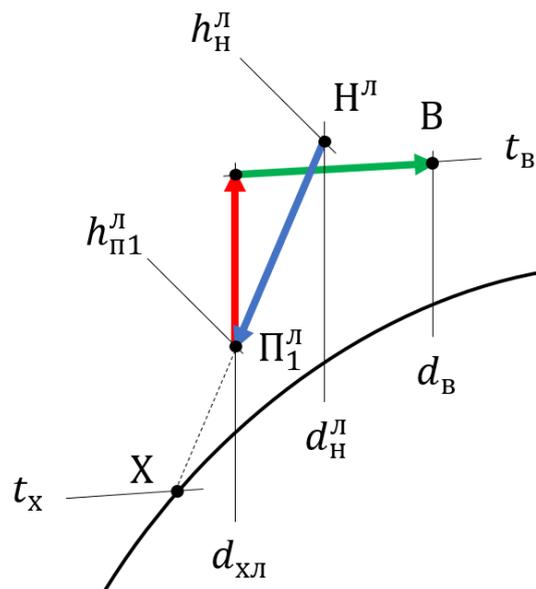


Рисунок 5 - Процесс осушения воздуха в летний период времени с использованием холодильной машины

## 2.4 Расчет эффективности рекуператора

Эффективность рекуператора определяется исходя из требуемой температуры воздуха после него в режиме зимней эксплуатации, рисунок 6.

В СП 131.13330.2018 [1, таблица 3.1] найти населенный пункт согласно индивидуальному заданию, выписать значения температуры воздуха наиболее холодной пятидневки с обеспеченностью 0,92 и среднюю месячную относительную влажность воздуха в 15 ч наиболее холодного месяца. Рассчитать аналитически или найти графически точку точки  $\text{Н}^3$ .

Нанести точки  $\text{В}$  на  $h-d$  диаграмму, чтобы определить параметры  $h_{\text{н}}^3$  и  $d_{\text{н}}^3$ , нанести линию  $d_{\text{н}}^3 = \text{const}$ .

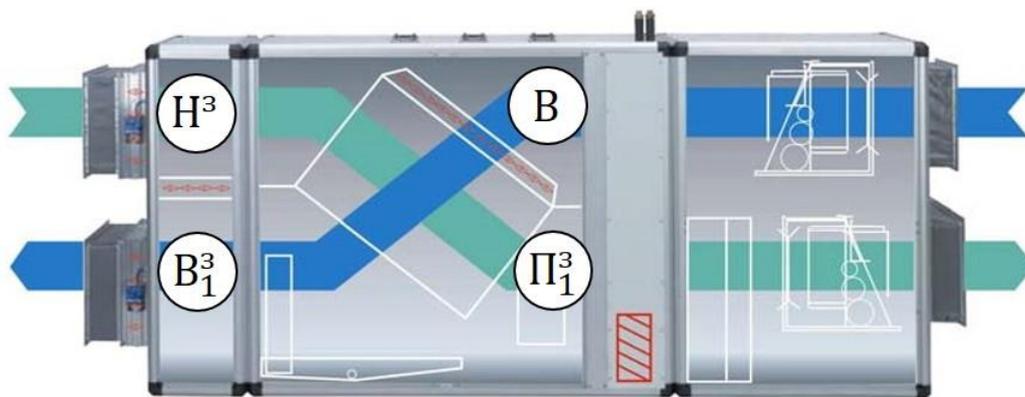


Рисунок 6 – Схема обработки воздуха для расчета эффективности рекуператора

Для температур наружного воздуха в диапазоне от  $-30$  до  $-40$  °С принять:  $d_H^3 = 0,2$ ;  $h_H^3 = t_H^3 + 0,2$ . Для температур наружного воздуха ниже  $-40$  °С принять:  $d_H^3 = 0$ ;  $h_H^3 = t_H^3$ . На пересечении линии  $d_H^3 = const$  и изотермы  $t_{п1}^3$  нанести точку  $\Pi_1^3$ , определить ее энтальпию  $h_{\Pi_1}^3$

Рассчитать коэффициент эффективности рекуператора:

$$\theta_{рек} = \frac{(h_{\Pi_1}^3 - h_H^3)}{(h_B - h_H^3)}$$

Определить параметры точки  $h_{B_1}^3$  из условия:

$$h_{B_1}^3 = h_B - \theta_{рек} (h_B - h_H^3).$$

Точка  $B_1^H$  может находиться как на линии  $d_B = const$ , так и на линии  $\varphi = 100\%$ .

Процессы обработки воздуха для расчета эффективности рекуператора показаны на рисунке 7

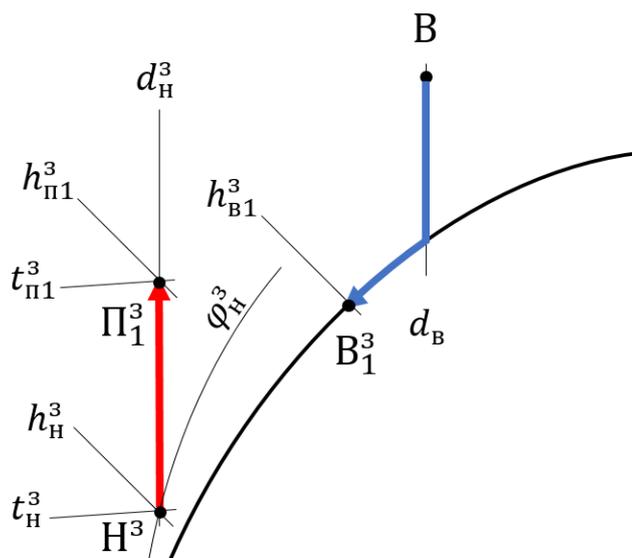


Рисунок 7 – Процессы обработки воздуха для расчета эффективности рекуператора

## 2. РАСЧЕТ РЕЖИМА РЕЦИРКУЛЯЦИИ

Режим полной рециркуляции используется в нерабочее время, когда нет посетителей в бассейне, рисунок 8.

Обрабатывается только воздух внутри помещения, заслонки подачи воздуха с улицы закрыты, а заслонки камеры смешения открыты. Воздух из помещения проходя через установку, сначала попадает в рекуператор, где происходит охлаждение встречным потоком более холодного воздуха, затем происходит дополнительное охлаждение в испарителе до состояния ниже точки росы.

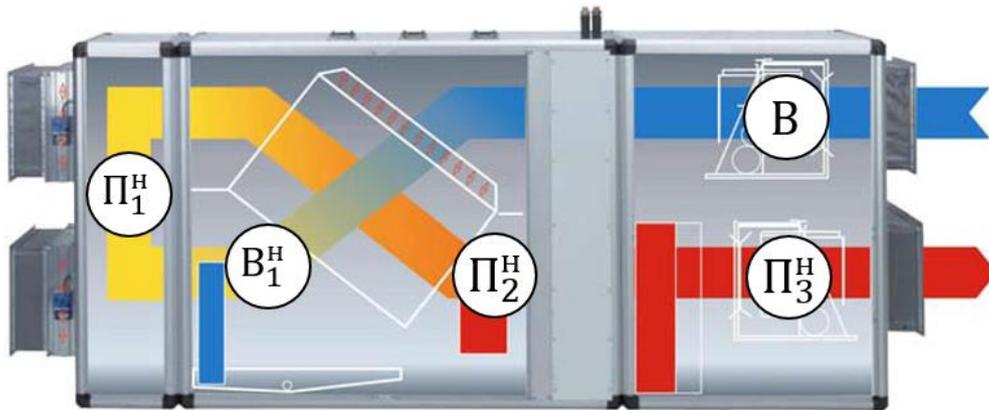


Рисунок 8 – Схема обработки воздуха в режиме полной рециркуляции

Влага в воздухе выпадает в виде конденсата на поверхности испарителя, а сухой холодный воздух попадает в рекуператор через заслонку камеры смешения. Там происходит подогрев с помощью более теплого потока воздуха из помещения. Далее воздух нагревается в до требуемой температуры в конденсаторе. После этого более сухой воздух подается обратно в помещение с бассейном.

### 3.1 Расчет требуемой холодопроизводительности

Требуемая холодопроизводительность определяется исходя из потребности в осушении ночью при работе установки в режиме полной рециркуляции. Процессы обработки воздуха в режиме полной рециркуляции представлены на рисунке 9.

Рассчитать требуемое влагосодержание подаваемого в помещение воздуха при  $L_H = 0,5L_{max}$  и нанести линию  $d_H = const$  на  $h-d$  диаграмму:

$$d_H = d_B - 1,3 \frac{1000 \cdot W_H}{L_H \cdot \rho}.$$

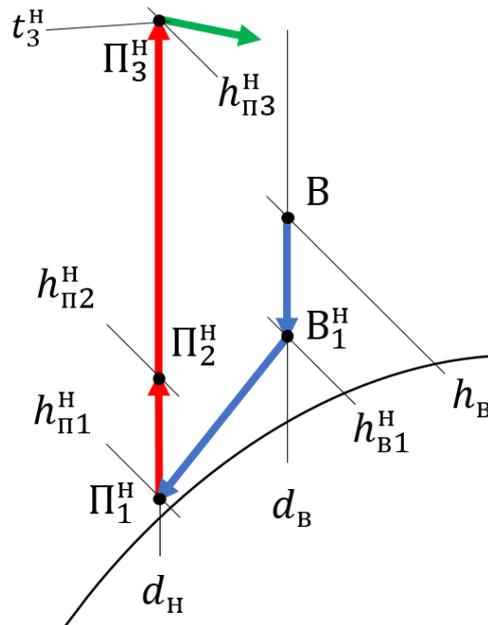


Рисунок 9 – Процессы обработки воздуха в режиме полной рециркуляции

Определение положения точки  $B_1^H$ .

Воздух с параметрами точки В охлаждается в рекуператоре до параметров точки  $B_1^H$  за счет взаимодействия с воздухом  $\Pi_1^H$  в рекуператоре с коэффициентом эффективности  $\theta_{рек}$ . При известной  $h_{\Pi_1^H}$  параметры точки  $B_1^H$  могут быть определены из условия:

$$h_{B_1^H} = h_B - \theta_{рек}(h_B - h_{\Pi_1^H}). \quad (1)$$

Точка  $\Pi_1^H$ , очевидно, находится на линии  $d_H = const$ . Однако энтальпия  $\Pi_1^H$  неизвестна. При этом следует учитывать, что точки X,  $\Pi_1^H$  и  $B_1^H$  при реализации процесса охлаждения в поверхностном охладителе должны находиться на одном луче процесса.

Задача может быть решена графически с использованием  $h-d$  диаграммы путем перебора значений  $h_{\Pi_1^H}$  от  $h_{\Pi_1^H}^{min}$  до  $h_{\Pi_1^H}^{max}$  в выражении (1) и последующей проверки путем построения луча процесса на диаграмме, рисунок 10.

Если значение  $h_{B_1^H}$  при  $h_{\Pi_1^H} = h_{\Pi_1^H}^{min}$  меньше  $h_{B_1^H}^{min}$ , то выражение (1) однозначно определит значение энтальпии точки  $B_1^H$ . В остальных случаях может потребоваться несколько итераций. Допустимым отклонением значения  $h_{B_1^H}$  можно считать 0,5 кДж/кг. Точка  $B_1^H$  может находиться как на линии  $d_H = const$ , так и на линии  $\varphi = 100\%$ .

При известном значении  $h_{B_1^H}$  необходимо рассчитать необходимую для осушения воздуха холодопроизводительность в ночном режиме при  $G_H = 0,5G_{max}$ :

$$Q_{хн} = G_H(h_{B_1^H} - h_{\Pi_1^H}).$$

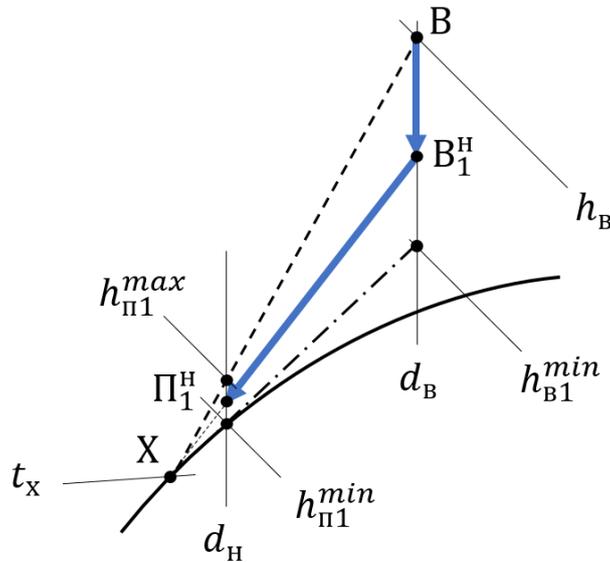


Рисунок 10 – Нахождение параметров воздуха перед испарителем и после

Если в процессе выполнения работы рассчитаны и  $Q_{хл}$ , и  $Q_{хн}$  (присутствует охлаждение летом), следует принять в качестве итогового значения холодопроизводительности  $Q_x$  наибольшую из них. Если значения  $Q_{хл}$  превышает значение  $Q_{хн}$  более чем в 2 раза, следует разделить холодильную машину на 2 отдельных контура и при расчете  $h_{п3}^H$  использовать уменьшенную вдвое мощность конденсатора (работа одного контура).

Определить положение точки  $П_2^H$  на линии  $d_H = \text{const}$  из условия:

$$h_{п2}^H = h_{п1}^H + (h_B - h_{B1}^H).$$

Определить положение точки  $П_3^H$  на линии  $d_H = \text{const}$  и температуру  $t_3^H$  при  $Q_{кн} = 1,25Q_x$  из условия:

$$h_{п3}^H = h_{п2}^H + \frac{Q_{кн}}{G_H}.$$

### 3. РАСЧЕТ ПЕРЕХОДНОГО РЕЖИМА

Смешанный режим используется в зимний период, рисунок 11.

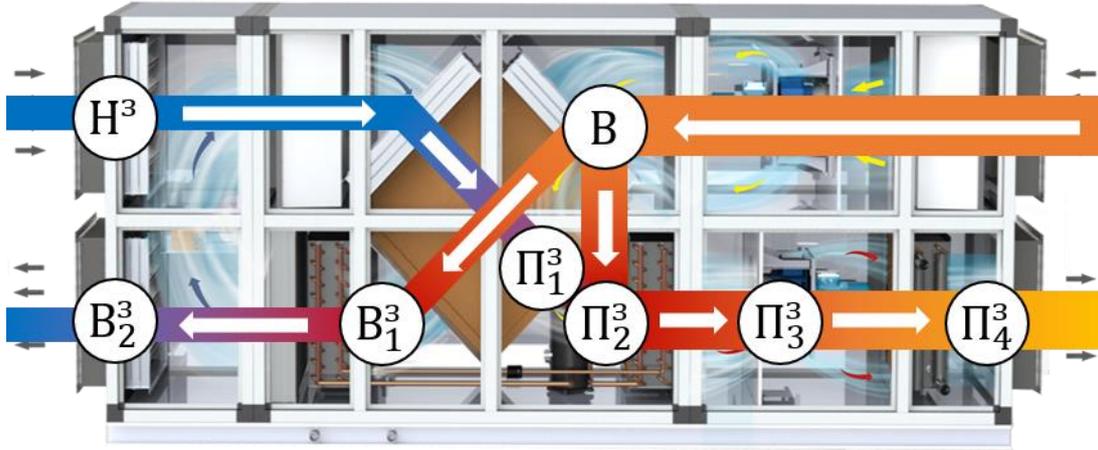


Рисунок 11 – Схема обработки воздуха в смешанном режиме

Этот режим дает возможность подавать в помещение с бассейном требуемое количество свежего воздуха с экономией энергии на нагрев воздуха. Наружный воздух в установку поступает в объеме, необходимом для осушения и поддержания газового баланса, оставшаяся доля расчетного расхода обеспечивается за счет частичной рециркуляции. Заслонки в камеру смешения регулируются, а внутри камеры происходит смешивание наружного воздуха с обработанным внутренним. Регулирование поступления потоков воздуха в камеру смешения зависит от температуры наружного воздуха: чем меньше температура воздуха снаружи, тем меньше наружного воздуха с забирается. Далее наружный воздух смешивается с внутренним и потом нагревается в рекуператоре и конденсаторе. И если воздух имеет недостаточную температуру, дополнительно задействуется водяной нагреватель.

Переходный режим реализуется при температурах воздуха от  $t_n^3$  до  $t_b$  при условии достаточной осушающей способности. Процессы обработки воздуха для переходного режима показаны на рисунке 12.

Для расчета данного режима необходимо рассчитать влагосодержание смеси  $d_{п2}^3$ :

$$d_{п2}^3 = d_b - n_{min}(d_b - d_n^3).$$

Если  $d_{п2}^3 > d_b - \Delta d_{min}$ , рассчитать и принять для дальнейших расчетов допустимое значение  $n_{min} = 100 \frac{\Delta d_{min}}{d_b - d_n^3}$ , пересчитать  $d_{п2}^3$

Нанести линию  $d_{п2}^3 = \text{const}$  на  $h-d$  диаграмму. На пересечении луча процесса смешения, проходящего через точки  $П_1^3$  и В, и линии  $d_{п2}^3 = \text{const}$  нанести точку  $П_2^3$ . Определить её энтальпию  $h_{п2}^3$

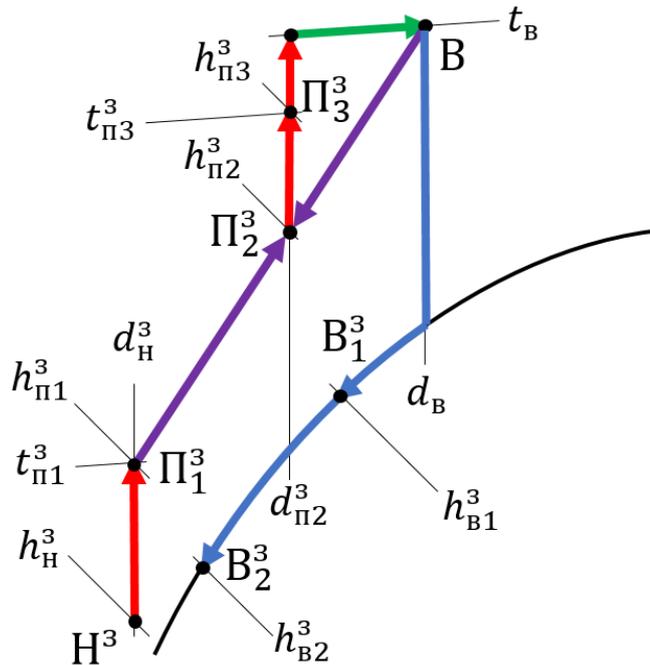


Рисунок 12 – Процессы обработки воздуха для переходного режима.

Определить положение точки  $\Pi_3^3$  на линии  $d_{\Pi 2}^3 = \text{const}$  и температуру  $t_{\Pi 3}^3$  при  $Q_k = 1,25Q_x$  из условия:

$$h_{\Pi 3}^3 = h_{\Pi 2}^3 + \frac{Q_k}{G_{max}}$$

Определить минимальный массовый расход свежего воздуха:

$$G_{min} = 0,01n_{min}G_{max}$$

Определить максимальную мощность водяного нагревателя:

$$Q_H = G_{min}(t_B - t_H^3)$$

Определить положение точки  $B_2^H$  на линии  $\varphi = 100\%$  и температуру  $t_{B 2}^3$  при  $Q_k = 1,25Q_x$  из условия:

$$h_{B 2}^3 = h_{\Pi 2}^3 - \frac{Q_k}{G_{min}}$$

## 5 РАСЧЕТ И КОМПОНОВКА ПРИТОЧНО-ВЫТЯЖНОЙ УСТАНОВКИ

### 5.1 Компоновка приточно-вытяжной установки

В данном разделе необходимо выбрать основные компоненты вентиляционного агрегата, не включенные во фреоновый контур:

- вентиляторы;
- пластинчатый рекуператор;
- водяной калорифер;
- смесительный узел водяного калорифера.

Принципиальная компоновка вентиляционной установки представлена на рисунке 13.



Рисунок 13 – Компоновка центрального кондиционера с обозначениями

### 5.2 Подбор вентилятора

При выборе вентилятора руководствуемся инструкцией из каталога выбранной компании, изготавливающая вентиляторы. В данном учебном-методическом пособии будет проведен подбор вентилятор компании *ZIEHL-ABEGG* [3].

Следует выбрать вентилятор серии *ER\_C* (приложение 2), который может обеспечить необходимый максимальный расход воздуха при заданном в индивидуальном задании напоре и КПД вентилятора не менее 70%. Для этого среди вентиляторов, представленных в приложении 2 следует выбрать такой вентилятор, рабочая точка которого (пересечение горизонтальной линии  $P_g=const$  и вертикальной линии  $L_{max}=const$ ) находится в секторе диаграммы, соответствующем КПД не менее 70%.

На рисунке 14 приведен пример выбора вентилятора при  $P_e=1500$  Па и  $L_{max}=6750$  м<sup>3</sup>/ч. КПД данного вентилятора при заданных условиях соответствует значению 73%.

При помощи диаграммы также можно выяснить другие характеристики выбранного агрегата, показанные условными обозначениями:

1. Типоразмер вентилятора;
2. Потребляемая мощность вентилятора  $P_L$ , кВт;
3. Статический КПД вентилятора  $\eta_{faL}$ ;
4. Уровень звуковой мощности на стороне всасывания  $L_{WA5}$ , дБА;
5. Скорость вращения вентилятора  $n$ , мин<sup>-1</sup>;
6. Расход воздуха  $q_v$ , м<sup>3</sup>/ч;
7. Располагаемое статическое давление  $p_{sF}$ , Па.

Все значения рассчитаны для плотности воздуха 1,16 кг/м<sup>3</sup>.

① ER45C, GR45C (пример диаграммы)

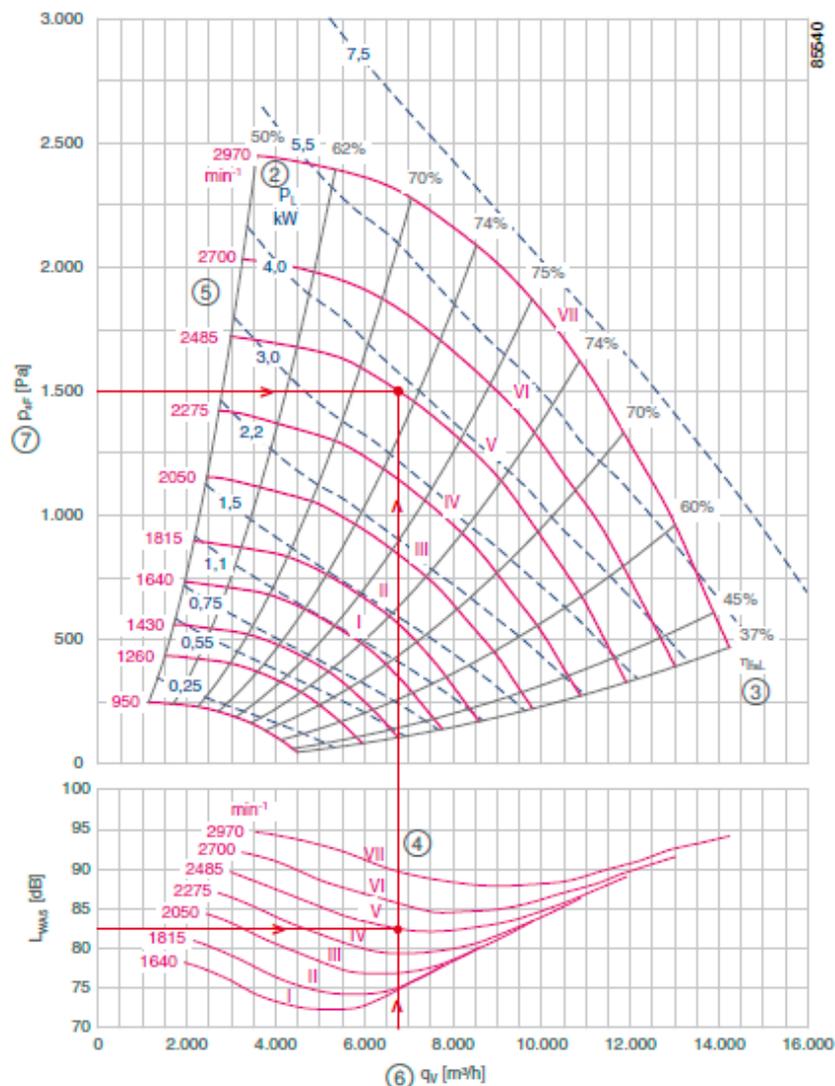


Рисунок 14 – Технические характеристики вентилятора

### 5.3 Подбор водяного калорифера

Водяные калориферы предназначены для нагрева воздуха помещений до предусмотренной температуры, рисунок 15. Они могут работать в качестве канальных нагревателей в приточных вентиляционных сетях или в составе воздушных отопительных установок. При выборе водяного калорифера следует руководствоваться максимальной скоростью в сечении и производимой мощностью.

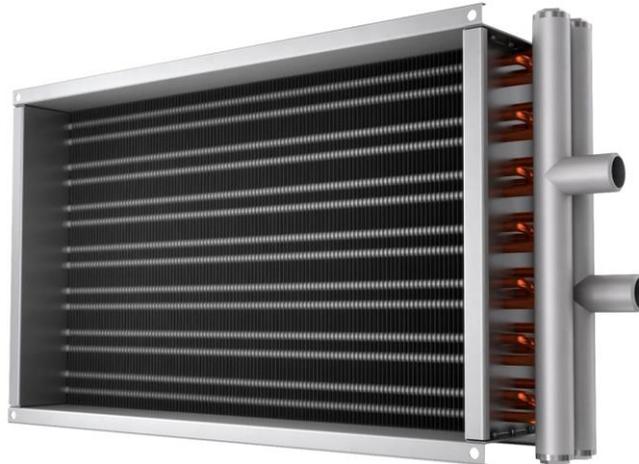


Рисунок 15 – Водяной калорифер

В данном учебном-методическом пособии будет проведен подбор водяных калориферов КСк [4]. Расчет и подбор водяных калориферов КСк осуществляется в следующей последовательности.

1. Расчет фронтального сечения калорифера для прохода требуемого объема воздуха и подбор подходящей модели воздухонагревателя типа КСк. Фронтальное сечение - рабочее внутреннее сечение с теплоотдающими трубками, через которое непосредственно проходят потоки нагнетаемого холодного воздуха ( $m^2$ ).

$$f = \frac{G}{v_T},$$

где  $G$  - массовый расход воздуха, кг/час;  $v_T$  - массовая скорость воздуха - для оребренных калориферов принимается в диапазоне 3 - 5 ( $кг/м^2 \cdot с$ ). Допустимые значения - до 7 - 8 ( $кг/м^2 \cdot с$ ).

Модель воздухонагревателя выбирается из списка в приложении 3, значение фронтального сечения модели должно быть равно или больше рассчитанного значения.

2. Нахождение действительной массовой скорости в фронтальном сечении подобранного калорифера ( $кг/м^2 \cdot с$ ).

$$v_d = \frac{G}{f},$$

где  $G$  - массовый расход воздуха, кг/ч;  $f$  - площадь действительного фронтального сечения, берущегося в расчет, м<sup>2</sup>.

3. Рассчитываем расход теплоносителя, исходя из требуемой тепловой мощности для нагрева заданного объема воздуха (кг/с).

$$G_w = \frac{Q}{c_w \cdot (t_{вх} - t_{вых})},$$

где  $Q$  - расход тепла для нагрева воздуха, Вт;  $c_w$  - удельная теплоемкость воды (температура воды на подаче и выходе суммируется и делится пополам), Дж/(кг·°C);  $t_{вх}$  - температура воды на входе в теплообменник, принимается равной 95 °C;  $t_{вых}$  - температура воды на выходе из теплообменника, принимается равной 75 °C.

4. Расчет скорости горячей воды в теплообменнике (м/с). Расчет скорости движения воды в трубках принятого калорифера производится из уравнения:

$$W = \frac{G_w}{\rho_w \cdot f_w},$$

где  $G_w$  - расход теплоносителя, кг/с;  $\rho_w$  - плотность воды при средней температуре в воздухонагревателе, кг/м<sup>3</sup>;  $f_w$  - средняя площадь живого сечения одного хода теплообменника (принимается по таблице подбора калориферов КСк), м<sup>2</sup>.

5. Вычисление коэффициента теплопередачи. Коэффициент теплопередачи выбранного воздухонагревателя можно рассчитать воспользовавшись таблицей 1, с данными при разных показателях массовой скорости воздуха и скорости воды КСк Вт/(м<sup>2</sup>·°C).

$$K = A \cdot V^n \cdot W^m,$$

где  $V$  - действительная массовая скорость воздуха, кг/м<sup>2</sup>·с;  $W$  - скорость движения воды в трубках, м/с;  $A$ ,  $n$ ,  $m$  - значение модуля и степеней из таблицы.

Таблица 1 - Расчетные значения для подсчета коэффициентов теплопередачи

|                             |          |          |          |
|-----------------------------|----------|----------|----------|
| КСк2<br>(2-х рядная модель) | <b>A</b> | <b>n</b> | <b>m</b> |
|                             | 33.3     | 0.383    | 0.175    |
| КСк3<br>(3-х рядная модель) | <b>A</b> | <b>n</b> | <b>m</b> |
|                             | 29.3     | 0.437    | 0.168    |
| КСк4<br>(4-х рядная модель) | <b>A</b> | <b>n</b> | <b>m</b> |
|                             | 25.5     | 0.496    | 0.160    |

6. Расчет фактической тепловой мощности подобранных калорифера для приточной вентиляции (Вт).

$$q = K \cdot F \cdot \left( \frac{t_{вх} + t_{вых}}{2} - \frac{t_{нач} + t_{кон}}{2} \right),$$

где  $K$  - коэффициент теплопередачи, Вт/(м<sup>2</sup>·°C);  $F$  - площадь поверхности нагрева выбранного калорифера (принимается по таблице подбора), м<sup>2</sup>;  $t_{вх}$  -

температура воды на входе в теплообменник, °С;  $t_{\text{вых}}$  - температура воды на выходе из теплообменника, °С;  $t_{\text{нач}}$  - температура воздуха на входе в теплообменник, °С;  $t_{\text{кон}}$  - температура нагретого воздуха на выходе из теплообменника, °С.

7. Расчет действительного расхода горячей воды (кг/сек) и действительной скорости теплоносителя (м/с).

$$g_w = \frac{q}{c_w \cdot (t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}})},$$

где  $q$  - фактическая тепловая мощность подобранных калориферов, Вт;  $c_w$  - удельная теплоемкость воды (температура воды на подаче и выходе суммируется и делится пополам), Дж/(кг·°С);  $t_{\text{вх}}$  - температура воды на входе в теплообменник, °С;  $t_{\text{вых}}$  - температура воды на выходе из теплообменника, °С.

$$w = \frac{g_w}{\rho_w \cdot f_w},$$

где  $g_w$  - фактический расход теплоносителя, кг/с;  $\rho_w$  - плотность воды при средней температуре в воздухонагревателе, кг/м<sup>3</sup>;  $f_w$  - средняя площадь живого сечения одного хода выбранного теплообменника, м<sup>2</sup>.

8. Установление запаса по тепловой мощности калорифера вентиляции и его соответствия рекомендуемому диапазону. Определяем запас тепловой производительности принятого калорифера.

$$\eta = \frac{q - Q}{Q} \cdot 100,$$

где  $q$  - фактическая тепловая мощность подобранных калориферов, Вт;  $Q$  - расчетная тепловая мощность для нагрева требуемого объема воздуха, Вт.

Фактическая тепловая производительность принятого калорифера вентиляции должна быть больше, чем расчетная. Диапазон допустимого процентного соотношения фактической и расчетной мощности может составлять от 96 до 120 (от - 4 до 20) %. Если при подсчете разница составила большее значение, чем вышеупомянутые цифры, следует произвести перерасчет.

9. Расчет аэродинамического сопротивления. Величину потерь по воздуху можно рассчитать из уравнения:

$$\Delta Pa = B \cdot V^r,$$

где  $V$  - действительная массовая скорость воздуха, кг/м<sup>2</sup>·с;  $B, r$  - значение модуля и степеней из таблицы.

Коэффициенты модуля и степеней выбираются из таблицы 2 для выбранной модели водяного калорифера КСк.

Таблица 2 - Расчетные значения для подсчета аэродинамического сопротивления

|                          |      |       |
|--------------------------|------|-------|
| КСк2 (2-х рядная модель) | В    | г     |
|                          | 4.23 | 1.832 |
| КСк3 (3-х рядная модель) | В    | г     |
|                          | 6.05 | 1.832 |
| КСк4 (4-х рядная модель) | В    | г     |
|                          | 8.63 | 1.833 |

10. Определение гидравлического сопротивления по теплоносителю. Сопротивление по теплоносителю вычисляется на основе уже подсчитанных коэффициентов гидравлического сопротивления для конкретных моделей калориферов КСк. Таблица с коэффициентами представлена в приложении 3.

$$\Delta P_w = C \cdot W^2,$$

где  $C$  - значение коэффициента гидравлического сопротивления заданной модели теплообменника (смотреть по приложение 2);  $W$  - скорость движения воды в трубках воздухонагревателя, м/с.

#### 5.4 Узлы регулирования

Узел регулирования предназначен для управления водяным калорифером или другим типом нагревательного устройства, использующего горячий жидкий теплоноситель, рисунок 16.



Рисунок 16 – Регулирующего узел.

Основными элементами узла регулирования являются трехходовой поворотный клапан с электроприводом и циркуляционный насос. Эти устройства поддерживают заданную температуру подогретого воздуха путем изменения температуры подаваемого в воздухонагреватель теплоносителя при сохранении его постоянного расхода.

В данном учебном-методическом пособии рассмотрен подбор узлов регулирования компании *Danfoss*, марки *DSM* [5]. Типоразмер узла регулирования выбирается из таблицы 3 в зависимости от расчетного

расхода теплоносителя через воздухонагреватель  $G_m$  в м<sup>3</sup>/ч и расхода воздуха  $G_{max}$  м<sup>3</sup>/ч. У полученной модели узла требуется вычислить располагаемый напор. Для этого используем диаграммы приложения 3.

Таблица 3 – Основные технические характеристики регулирующего узла

| Обозначение узла        | Ду, Прис. Элем, мм | Расход теплоносителя, м <sup>3</sup> /ч | Расход воздуха, м <sup>3</sup> /ч | Клапан |                        | Насос  |                          |
|-------------------------|--------------------|---|-----------------------------------|--------|------------------------|--------|--------------------------|
|                         |                    |   |                                   | Ду, мм | Kvs, м <sup>3</sup> /ч | Ду, мм | Макс. перепад, м вд. ст. |
| <i>DSM-H20-5,6-1,0</i>  | 20                 | 0,2–0,4                                 | 362–723                           | 15     | 1,00                   | 20     | 5,6                      |
| <i>DSM-H20-5,2-1,63</i> | 20                 | 0,41–0,8                                | 741–1446                          | 15     | 1,63                   | 20     | 5,1                      |
| <i>DSM-H20-4,7-2,5</i>  | 20                 | 0,81–1,2                                | 1465–2170                         | 15     | 2,50                   | 20     | 4,4                      |
| <i>DSM-H25-4-4,0</i>    | 25                 | 1,21–1,7                                | 2188–3074                         | 20     | 4,00                   | 20     | 3,6                      |
| <i>DSM-H25-3,4-6,3</i>  | 25                 | 1,71–2,2                                | 3092–3978                         | 20     | 6,30                   | 20     | 2,9                      |
| <i>DSM-H25-5,7-6,3</i>  | 25                 | 2,21–3,2                                | 3996–5682                         | 20     | 6,30                   | 25     | 4,5                      |
| <i>DSM-H25-5-10</i>     | 25                 | 3,21–4,2                                | 5700–7458                         | 25     | 10,0                   | 25     | 3,4                      |
| <i>DSM-H32-4,8-10</i>   | 32                 | 4,21–4,5                                | 7476–7991                         | 25     | 10,0                   | 25     | 2,4                      |
| <i>DSM-H32-9,5-16</i>   | 32                 | 4,51–7                                  | 8008–12430                        | 32     | 16,0                   | 32     | 7,7                      |
| <i>DSM-H40-5,6-25</i>   | 40                 | 7,10–11,1                               | 12608–19711                       | 40     | 25,0                   | 40     | 5,6                      |
| <i>DSM-H50-7,7-40</i>   | 50                 | 11,2–18,1                               | 19888–32142                       | 50     | 40,0                   | 50     | 7,2                      |

## 5.5 Подбор рекуператора

Благодаря теплоутилизатору тепло, забираемое из удаляемого воздуха, передается приточному. При этом конструкция рекуператора определяет условия его применения, эффективность и качество приточного воздуха на выходе из устройства.

Для подбора рекуператора была использована программа «HEATEX Select» (см. рисунок 18), применяемая для расчета рекуператоров *Klingenburg* [6]. Помимо расчета производительности рекуператоров программа также позволяет конвертировать объемный расход в массовый с учетом параметров воздуха (температура, относительная влажность).

При запуске программы требуется выбрать русский язык и вкладку «пластинчатые рекуператоры». Далее будет доступно окно интерфейса программы подбора, представленное на рисунке 17.

Рисунок 17 – Подбор рекуператора для осушительной установки

Требуется выбрать в окне сезона пункт «Зима», в окне «Шаги» выбираем «1 шаг» и в окне «Байпас» выбираем «Без байпаса». Для расчета рекуператора используются данные из раздела расчета эффективности рекуператора и вписываются в специальные поля для заполнения. А именно: расход воздуха в пункте «поток воздуха в», температуру и влажность наружного и внутреннего воздуха в пунктах «температура в» и «RH%», давление наружного воздуха равного 101325 Па. Общая ширина рекуператора может быть выбрана в диапазоне от 500 до 1000 мм. Тип рекуператора, значение шага пластин и высоты поперечного сечения подбирается методом итераций, до момента совпадения рассчитанных значений воздуха с состоянием до рекуператора и после рекуператора притока и вытяжки. В примере выбран рекуператор серии «Н» с высотой поперечного сечения (четыре цифры после обозначения типа рекуператора) 750 мм и шагом пластин 10,5 мм.

Рисунок 18 - Результаты расчета рекуператора

После заполнения всех полей требуется нажать на кнопку «расч. Рекуператора». В нижней части программы появится результаты расчета рекуператора, рисунок 18. Необходимо обеспечить подбором соответствие

параметров до и после рекуператора для вытяжки и притока с расчетными данными из раздела 2.4. Скорость движения воздуха, показываемая в соответствующей графе результатов расчета, не должна превышать 4 м/с.

## 5.7 Подбор компрессора

В приточной вытяжных установка следует устанавливать компрессор с низким уровнем шума, высокой надежностью и компактностью. Под данные критерии подходит спиральный компрессор. Компрессор рассчитывается по холодопроизводительности. В общепринятой инженерной практике выбор компрессоров осуществляется с помощью программ подбора, разрабатываемых производителями компрессорной техники и свободно распространяемых по открытой лицензии. В качестве примера воспользуемся программой компании *Copeland* «*Selection software 8*» (рисунок 19) [7].

The screenshot shows the 'Selection software 8' interface. The top section contains input fields for refrigerant (R407C), evaporator temperature (5.00°C), condenser temperature (15.00°C), and other parameters. The bottom section displays a table of compressor options with the following data:

| КОМПРЕССОР   | Холодопроизводительность kW | Мощность kW | Кол-во, коэф-т | Рабочий ток А | Массовый расход на всасывании g/s | Объемная производительность м³/д |
|--------------|-----------------------------|-------------|----------------|---------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| ZR34KCE-TFD  | 20,70                       | 6,41        | 3,23           | 12,17         | 135,50                            | 22,1                             |
| ZR100KRE-TFD | 23,20                       | 7,02        | 3,31           | 13,11         | 151,50                            | 24,9                             |
| ZR66KSE-TFD  | 23,80                       | 6,89        | 3,46           | 13,20         | 155,50                            | 25,7                             |
| ZR76KSE-TFD  | 27,30                       | 8,23        | 3,32           | 15,19         | 178,00                            | 28,8                             |
| ZR125KRE-TFD | 27,20                       | 8,24        | 3,30           | 15,06         | 177,00                            | 29,1                             |
| ZR144KRE-TFD | 31,10                       | 9,34        | 3,34           | 16,56         | 202,00                            | 33,2                             |
| ZR95KSE-TFD  | 34,10                       | 10,35       | 3,29           | 19,36         | 222,00                            | 36,4                             |
| ZR160KRE-TFD | 33,60                       | 10,55       | 3,18           | 19,33         | 219,00                            | 36,4                             |
| ZR190KRE-TFD | 39,60                       | 12,60       | 3,14           | 25,21         | 258,00                            | 43,3                             |
| ZR114KSE-TFD | 39,70                       | 12,60       | 3,15           | 26,65         | 259,00                            | 43,4                             |
| ZR250KCE-TWD | 52,60                       | 16,65       | 3,16           | 28,18         | 343,00                            | 56,6                             |
| ZR310KCE-TWD | 65,40                       | 20,40       | 3,17           | 35,63         | 427,00                            | 71,4                             |
| ZR300KCE-TWD | 60,60                       | 25,00       | 3,23           | 43,30         | 526,00                            | 87,5                             |

Рисунок 19 – Интерфейс программы “*Selection software 8*”

Для подбора компрессора потребуется ввести необходимые данные в следующие окна: «Настройки», «Требования/Выбор», «Рабочие условия», «Семейство», «Выбор».

В окне «Семейство» следует открыть вкладку «Кондиционирование воздуха» и добавить галочки над пунктами «Спиральный стандартный» и «Спиральный – горизонт». В остальных вкладках убрать галочки, если они есть, рисунок 20.

В окне «Настройки» требуется выбрать хладагент  $R407C$ , главным преимуществом которого является альтернатива фреону  $R22$ . Он может использоваться как в бытовой климатической технике, так и в промышленных климатических установках. В строке «Темп. Рекомендации» выбрать «Точка росы». В графе «Электропитание» выбрать «50 Hz» и «380-420 / 3 / 50 Hz», рисунок 20.

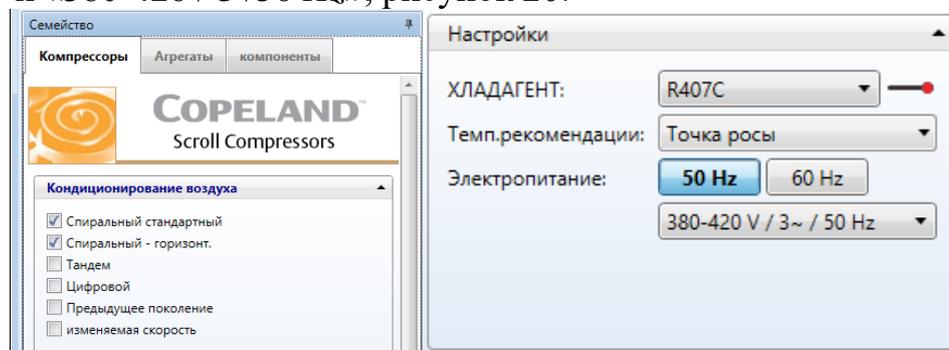


Рисунок 20 – Окна «семейство» и «настройки»

В окне «Требования/Выбор», в графе «требование» перевести режим в «ON» и написать требуемую холодопроизводительность  $Q_x$ , рисунок 21. В случае если ранее было применено разделение холодильной машины на два контура или если в холодопроизводительность компрессоров, представленных в программе, недостаточна для обеспечения  $Q_x$ , при подборе следует использовать вдвое меньшее значение  $Q_x$ .

В окне «Рабочие условия» указываются ключевые характеристики холодильного цикла. Нажимая на название параметров, в выпадающем списке необходимо выбрать параметры, как показано на рисунке 21, и ввести их значения.

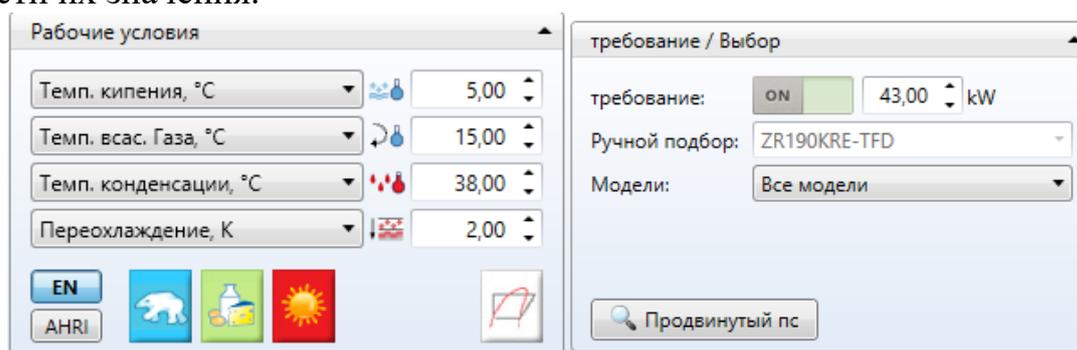


Рисунок 21 – Окна «требование/выбор» и «рабочие условия»

Температура кипения принимается на 4-6 К ниже температуры поверхности испарителя  $t_x$ . Температура конденсации должна быть на 5-10 К выше температуры после конденсатора в ночном режиме  $t_3^H$ . Значения перегрева и переохлаждения принять 10 К и 2 К соответственно.

Программа автоматически подберет требуемый компрессор с холодопроизводительностью большей или равной значению  $Q_x$  заданному

в окне «Требования/Выбор». Во вкладках окна «Выбор» доступна подробная информация о выбранном компрессоре, в том числе его энергопотребление, присоединительные размеры и габаритные чертежи, рисунок 22. В этом окне также возможно ручное переключение компрессоров путем нажатия стрелок справа и слева от наименования модели компрессора.

| КОМПРЕССОР:  | Холодопроизводительность kW | Мощность kW | Холод. коэфф-т | Рабочий ток A | Массовый расход на всасывании g/s | объемная производит. m³/h |
|--------------|-----------------------------|-------------|----------------|---------------|-----------------------------------|---------------------------|
| ZS09KAE-TFD  | 2,13                        | 1,08        | 1,96           | 2,20          | 17,75                             | 3,73                      |
| ZS11KAE-TFD  | 2,57                        | 1,28        | 2,00           | 2,62          | 21,40                             | 4,39                      |
| ZS13KAE-TFD  | 2,91                        | 1,49        | 1,95           | 2,86          | 24,20                             | 5,04                      |
| YB12K1E-TFDN | 3,40                        | 1,64        | 2,07           | 3,06          | 28,30                             | 5,76                      |
| YB17K1E-TFDN | 4,76                        | 2,19        | 2,18           | 3,70          | 39,60                             | 8,00                      |
| YB21K1E-TFDN | 6,05                        | 2,75        | 2,20           | 4,79          | 50,40                             | 9,95                      |
| YB24K1E-TFDN | 6,77                        | 3,15        | 2,15           | 5,82          | 56,40                             | 11,4                      |
| YB31K1E-TFDN | 8,54                        | 3,82        | 2,23           | 7,36          | 71,10                             | 14,3                      |
| YB36K1E-TFDN | 10,20                       | 4,47        | 2,28           | 8,21          | 84,70                             | 16,7                      |
| YB45K1E-TFDN | 12,80                       | 5,73        | 2,23           | 9,89          | 106,50                            | 21,4                      |
| ZB66K5E-TFD  | 15,45                       | 7,01        | 2,21           | 13,38         | 128,50                            | 25,7                      |
| ZB76K5E-TFD  | 18,10                       | 8,21        | 2,21           | 15,32         | 150,50                            | 28,8                      |
| ZB95K5E-TFD  | 22,40                       | 10,45       | 2,15           | 19,90         | 186,50                            | 36,4                      |
| ZB114K5E-TFD | 26,20                       | 12,65       | 2,07           | 24,61         | 218,00                            | 43,4                      |
| ZB220KCE-TWM | 53,20                       | 24,60       | 2,16           | 42,15         | 443,00                            | 87,5                      |

Рисунок 22 – Окно «Выбор»

## 5.8 Подбор компонентов теплового насоса

После подбора компрессора требуется подобрать регулирующие и линейные компоненты. Некоторые производители предлагают программные решения для подбора таких комплектующих, что значительно упрощает проектирование холодильного контура. В данном примере использована программа «Coolselector®2» (см. рисунок 23) [8].

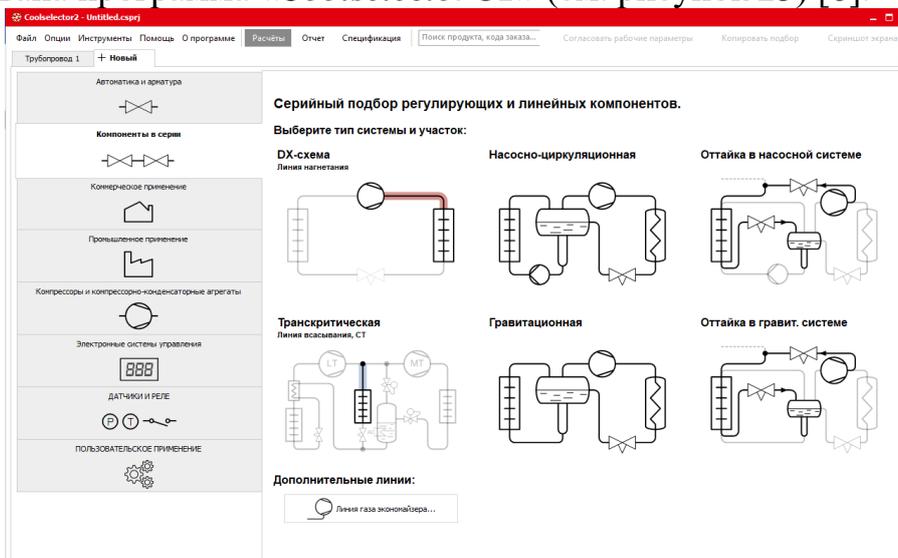


Рисунок 23 – Интерфейс начального меню программы «Coolselector®2»

При открытии программы следует выбрать вкладку «Компоненты в серии», «DX- схема» и выбрать необходимый участок фреонового контура. Для начала рассмотрим линию нагнетания. Функционально интерфейс (см. рисунок 25) разделяется на 4 части:

- окно с изделиями; которые можно добавить в линию;
- рабочие параметры;
- линия;
- результаты расчета линии.

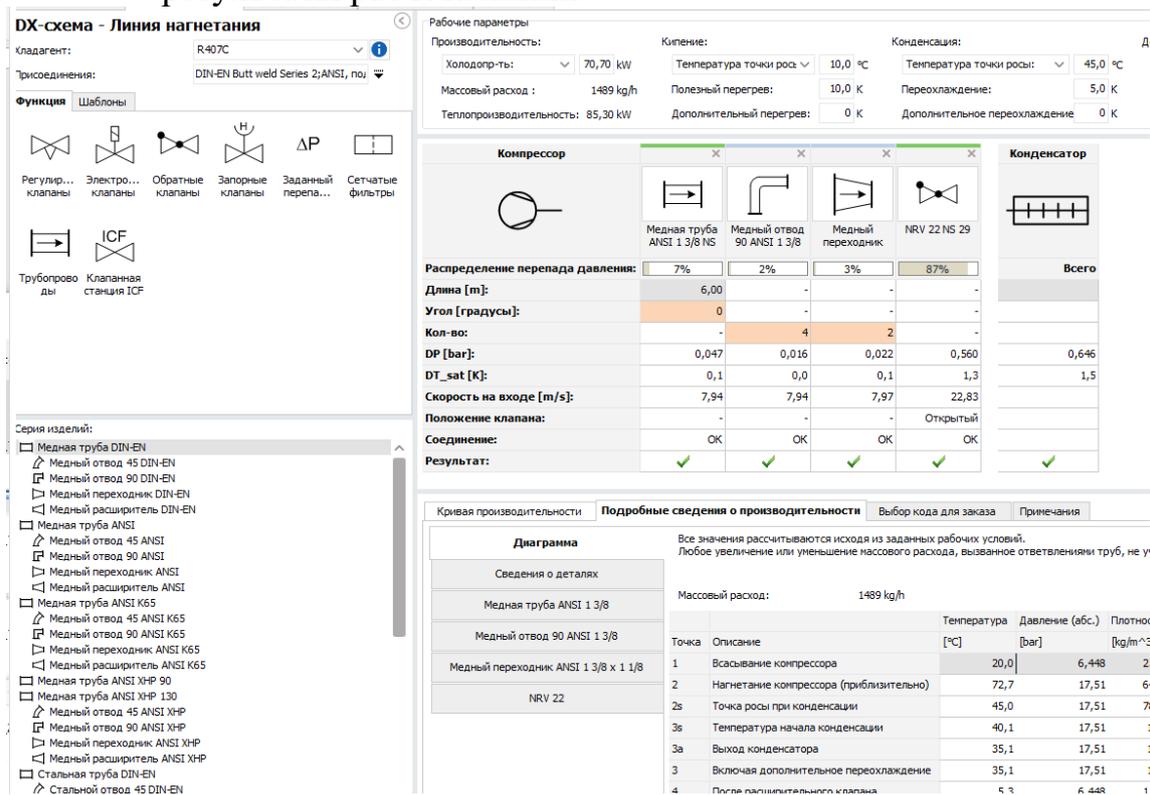


Рисунок 25 - Интерфейс меню линии нагнетания

Вначале заполним вкладку «Рабочие параметры», рисунок 26. В графе «производительность» выбрать холодопроизводительность и вписать значение холодопроизводительности выбранного компрессора. Во вкладке «кипения и конденсация» следует указать значения, использованные ранее в аналогичных графах при подборе компрессора.

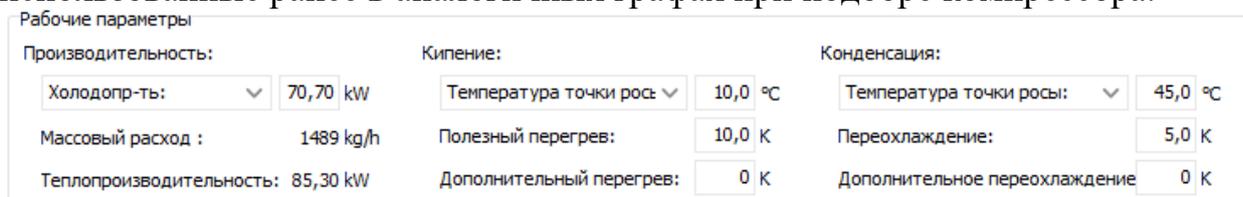


Рисунок 26 – вкладка «Рабочие параметры»

Во вкладке с изделиями выбрать хладагент, который используется в тепловом насосе. Ниже выбираем иконку трубопровода и добавляем

медный трубопровод ANSI двойным нажатием мыши, рисунок 27. Также добавим отвод 90 ANSI. Далее нажимаем на иконку обратных клапанов и выберете серию изделий NRV v 2, рисунок 27.

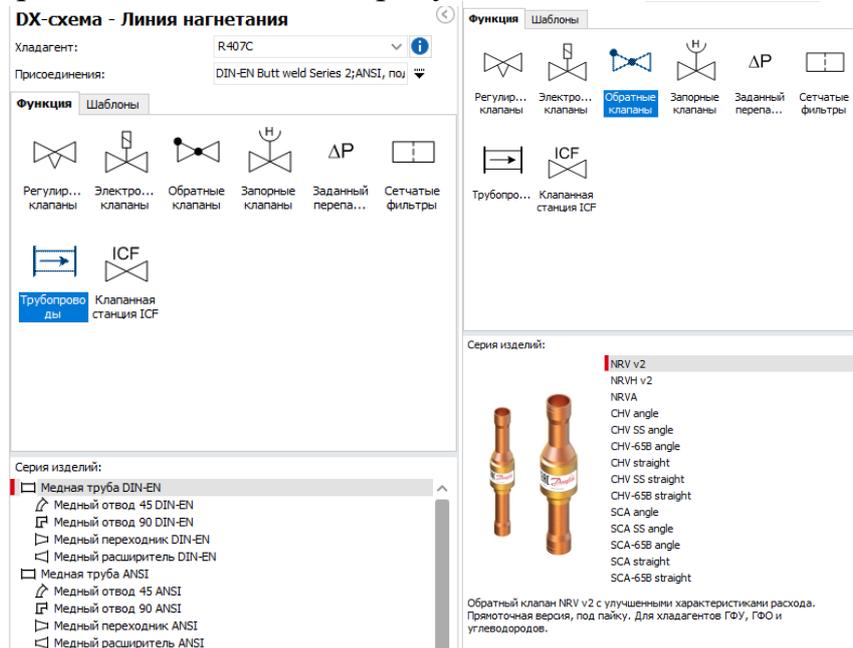


Рисунок 27 – Вкладка с выбором регулирующие и линейные компонентов системы и хладагента

Во вкладке «линии» появятся все те компоненты, которые выбрали во вкладке с изделиями. Оранжевым цветом указаны данные, которые можно изменить, например, можно изменить длину трубы, что влияет на общее сопротивление на линии нагнетания, рисунок 28.

| Компрессор  | ×   | ×   | ×   | ×   | Конденсатор   |
|---|---|---|---|---|---|
|  |  |  |  |  |  |
|   | Медная труба ANSI 1 3/8 NS  | Медный отвод 90 ANSI 1 3/8  | Медный переходник   | NRV 22 NS 29  |   |
| Распределение перепада давления:  | 7%  | 2%  | 3%  | 87%   | Всего   |
| Длина [m]:  | 6,00  | -   | -   | -   |   |
| Угол [градусы]:   | 0   | -   | -   | -   |   |
| Кол-во:   | -   | 4   | 2   | -   |   |
| DP [bar]:   | 0,047   | 0,016   | 0,022   | 0,560   | 0,646   |
| DT_sat [K]:   | 0,1   | 0,0   | 0,1   | 1,3   | 1,5   |
| Скорость на входе [m/s]:  | 7,94  | 7,94  | 7,97  | 22,83   |   |
| Положение клапана:  | -   | -   | -   | Открытый  |   |
| Соединение:   | OK  | OK  | OK  | OK  |   |
| Результат:  | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   | ✓   |

Рисунок 28 – Вкладка линии нагнетания

Для понимания, правильно ли был произведен подбор, следует обратить внимание на два пункта: «Соединение» и «Результат».

«Соединение» должно иметь значение ОК, что обозначает, что предыдущий и следующий элемент системы имеют одинаковый присоединительный диаметр.

При удовлетворении требований подбора в ячейке «Результат» отобразится символ «зеленая галочка». В противном случае следует нажать на иконку компонента и выбрать из предложенного списка компонент ближайшего типоразмера и присоединительного диаметра, рисунок 29.

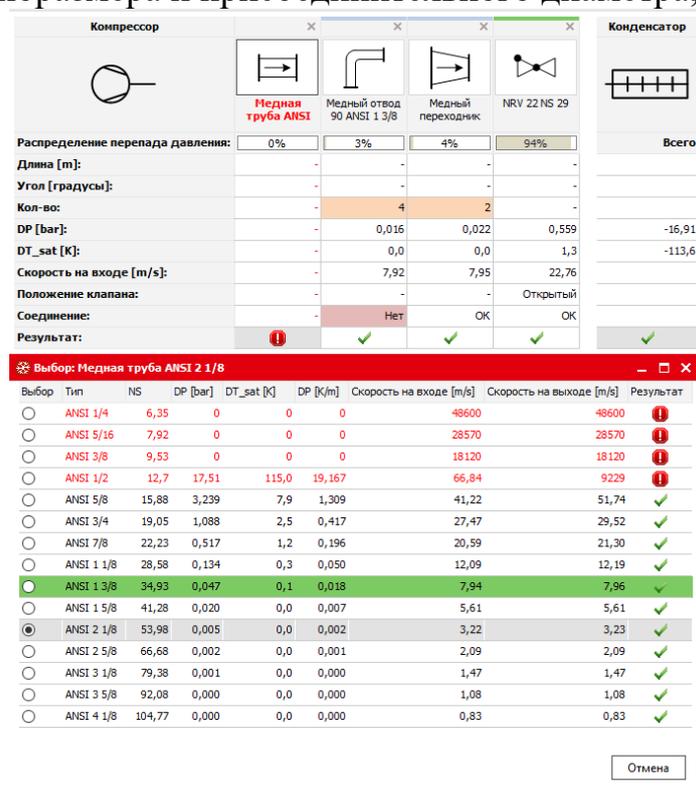


Рисунок 29 – Выбор медной трубы

После подбора регулирующих и линейных компонентов системы доступен просмотр подробных сведений о производительности и кривая производительности для всех компонентов, рисунок 30.

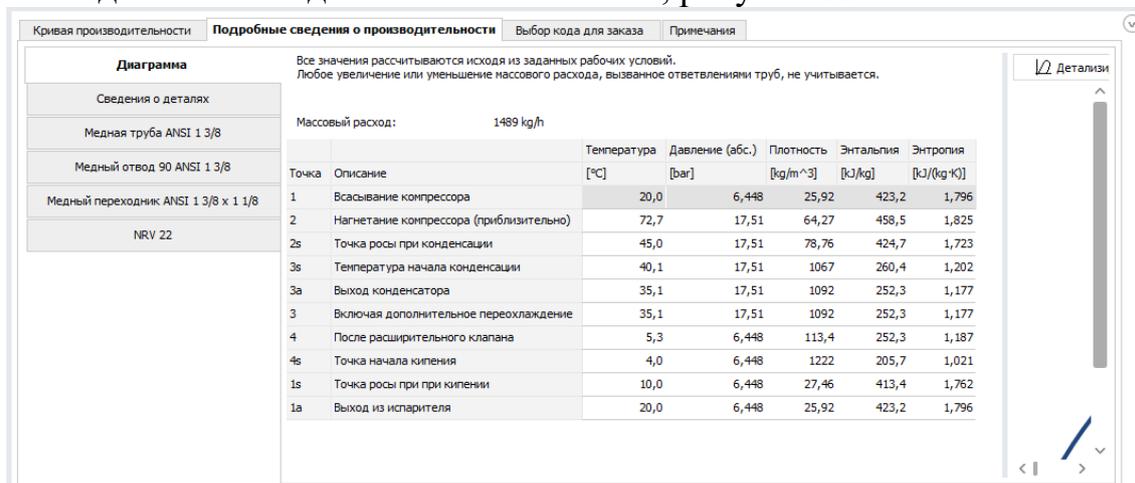


Рисунок 30 – Вкладка результатами расчета линии нагнетания

Подберем компоненты для линии всасывания. Нажимаем на вкладку «новый» в верхнем левом углу и выбираем линию всасывания, рисунок 31.

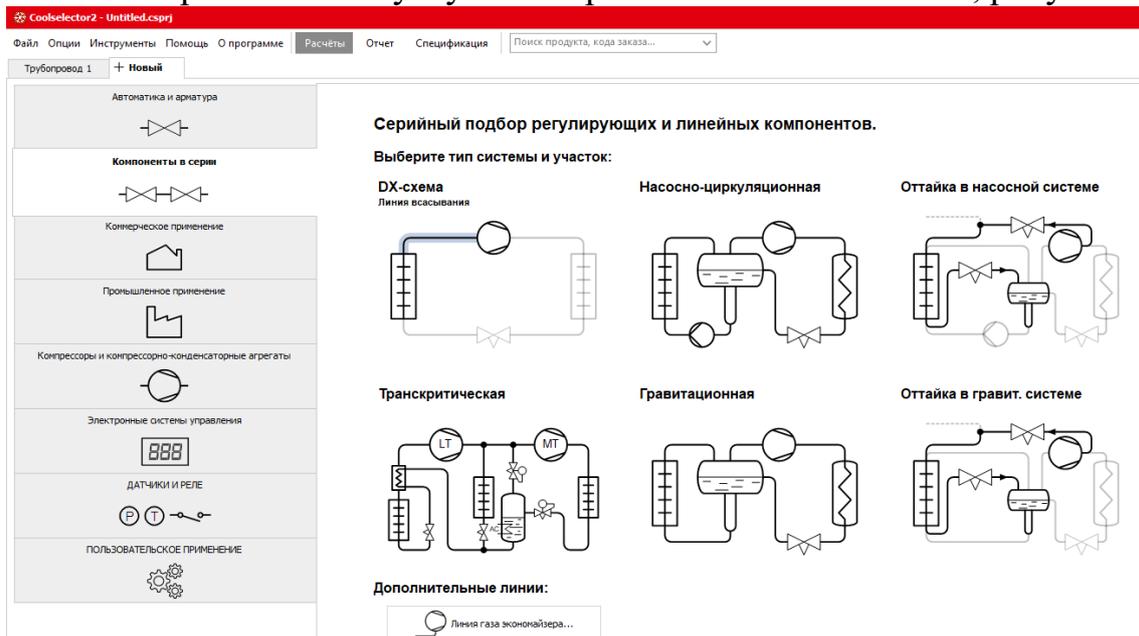


Рисунок 31 – Открытие новой вкладки трубопровода

На линии всасывания расположен антикислотный фильтр, осушитель и отделитель жидкости. Добавляем трубу в расчет гидравлических потерь, также добавляем несколько отводов на линии всасывания и антикислотный фильтр DSR, рисунок 32.

**DX-схема - Линия всасывания**

Хладагент: R407C  
Присоединения: Все

**Функция** | Шаблоны

Регулир... клапаны | Электро... клапаны | Обратные клапаны | Запорные клапаны | Заданный перепа... | Сетчатые фильтры

Фильтры антикисл... | Смотровые стекла | Трубопро... | Клапанная станция ICF

Серия изделий:

**Рабочие параметры**

Производительность: Холодопр-ть: 70,70 kW | Кипение: Температура точки росы: 10,0 °C | Конденсация: Температура точки росы: 45,0 °C

Массовый расход: 1489 kg/h | Полезный перегрев: 10,0 K | Переохлаждение: 5,0 K

Теплопроизводительность: 85,30 kW | Дополнительный перегрев: 0 K | Дополнительное переохлаждение: 0 K

| Испаритель                       | Медная труба ANSI 2 1/8 NS | Медный отвод 90 ANSI 2 1/8 | Медный переходник | DCR 19211-DA NS 35 | Компрессор |
|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|-------------------|--------------------|------------|
| Распределение перепада давления: | 9%                         | 5%                         | 15%               | 71%                | Всего      |
| Длина [m]:                       | 6,00                       | -                          | -                 | -                  |            |
| Угол [градусы]:                  | 0                          | -                          | -                 | -                  |            |
| Кол-во:                          | -                          | 4                          | 1                 | -                  |            |
| DP [bar]:                        | 0,012                      | 0,007                      | 0,022             | 0,103              | 0,144      |
| DT_sat [K]:                      | 0,1                        | 0,0                        | 0,1               | 0,5                | 0,7        |
| Скорость на входе [m/s]:         | 7,99                       | 8,24                       | 8,03              | 14,79              |            |
| Положение клапана:               | -                          | -                          | -                 | -                  |            |
| Соединение:                      | OK                         | OK                         | OK                | OK                 |            |
| Результат:                       | ✓                          | ✓                          | ✓                 | ✓                  | ✓          |

Рисунок 32 – Линия всасывания

Подберем компоненты для линии жидкости высокого давления. На линии должны быть: Фильтр-осушитель DSL; Смотровое стекло SGS; Электронно-магнитный клапан EVR; Термостатический расширительный клапан TGE, рисунок 33.

**DX-схема - Линия жидкости высокого давления**

Хладагент: R-407C  
 Присоединения: Все

Рабочие параметры:  
 Производительность: 70,70 kW  
 Холодопр-ты: 10,0 °C  
 Температура точки росы: 10,0 °C  
 Температура точки росы: 45,0 °C  
 Дополнительно: Температура нагнетания 72,7 °C  
 Массовый расход: 1489 kg/h  
 Полезный перегрев: 10,0 K  
 Переохлаждение: 5,0 K  
 Теплопроизводительность: 85,30 kW  
 Дополнительный перегрев: 0 K  
 Дополнительное переохлаждение: 0 K

Функция: Шаблон

Регулирующие клапаны: Регулирующие клапаны, Обратные клапаны, Запорные клапаны, Электронно-расширительные клапаны, Термостатно-расширительные клапаны

Распределители: Распределители, Заданные перепады, Поплавковые регуляторы, Сетчатые фильтры

Смотровые стекла: Смотровые стекла, Трубопроводы, Клапанная станция ICF

Серия изделий: EVR v2, EVU, EVUL, AKV, AKV 10P, EVRA, EVRAT, EVRS

| Конденсатор                          |       | Медная труба ANSI 7/8 NS 22 | Медный отвод 90 ANSI 7/8 NS | DCL 60% | SGS 7/8 NS 22 | Медный расширитель | EVR 25 v2 NS 29 | Медный переходник | TGE 20 - 20 NS 22 | Испаритель |
|--------------------------------------|-------|-----------------------------|-----------------------------|---------|---------------|--------------------|-----------------|-------------------|-------------------|------------|
| Распределение перепада давления:     |       | 0%                          | 0%                          | 0%      | 0%            | 0%                 | 1%              | 0%                | 98%               | Всего      |
| Длина [m]:                           | 8,00  | -                           | -                           | -       | -             | -                  | -               | -                 | -                 | -          |
| Угол [градусы]:                      | 0     | -                           | -                           | -       | -             | -                  | -               | -                 | -                 | -          |
| Кол-во:                              | -     | 6                           | -                           | -       | -             | 1                  | -               | 2                 | -                 | -          |
| Номинальная производительность [kW]: | -     | -                           | -                           | -       | -             | -                  | -               | -                 | -                 | 71,22      |
| Мин. производительность [kW]:        | -     | -                           | -                           | -       | -             | -                  | -               | -                 | -                 | 17,81      |
| Нагрузка [%]:                        | -     | -                           | -                           | -       | -             | -                  | -               | -                 | -                 | 99         |
| DP [bar]:                            | 0,052 | 0,010                       | 0,043                       | 0,006   | 0,001         | 0,112              | 0,005           | 10,83             | 11,06             | -          |
| DT_sat [K]:                          | 0,1   | 0,0                         | 0,1                         | 0,0     | 0,0           | 0,3                | 0,0             | 35,6              | 36,2              | -          |
| Скорость на входе [m/s]:             | 1,21  | 1,15                        | 1,21                        | 1,22    | 1,22          | 0,77               | 0,71            | 2,69              | -                 | -          |
| Положение клапана:                   | -     | -                           | Открытый                    | -       | -             | Частично открытый  | -               | Открытый          | -                 | -          |
| Соединение:                          | OK    | OK                          | OK                          | OK      | OK            | OK                 | OK              | OK                | OK                | OK         |
| Результат:                           | ✓     | ✓                           | ✓                           | ✓       | ✓             | ✓                  | ✓               | ✓                 | ✓                 | ✓          |

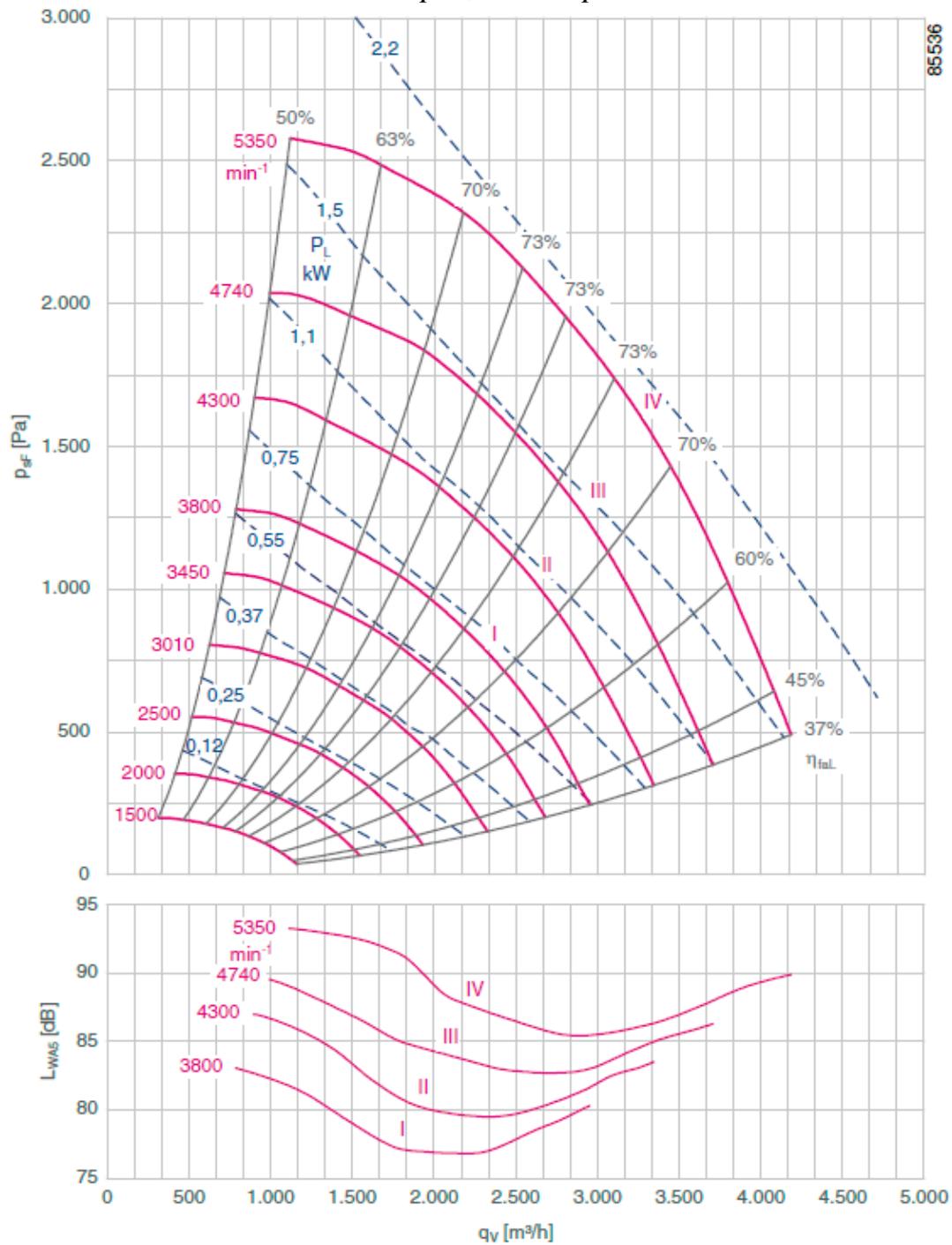
Рисунок 33 – Линия жидкости высокого давления

Приложение 1. Индивидуальные задания по вариантам

| № вар . | Населенный пункт | Влаговыведение в дневное время $W_{д}$ , л/ч | Влаговыведение в ночное время $W_{д}$ , л/ч | Минимальная доля свежего воздуха $n_{min}$ , % | Напор вентиляторов $P_{в}$ , Па |
|---------|------------------|--|---|--|---------------------------------|
| 1       | Братолюбовка     | 101  | 35  | 30   | 1100                            |
| 2       | Зима             | 52   | 21  | 30   | 1180                            |
| 3       | Койнас           | 49   | 20  | 40   | 550                             |
| 4       | Астрахань        | 85   | 22  | 40   | 250                             |
| 5       | Мариинск         | 115  | 51  | 50   | 680                             |
| 6       | Монды            | 81   | 31  | 50   | 1120                            |
| 7       | Архара           | 43   | 11  | 30   | 390                             |
| 8       | Емецк            | 96   | 42  | 40   | 950                             |
| 9       | Багдарин         | 40   | 14  | 40   | 1140                            |
| 10      | Средняя Ньюкжа   | 140  | 44  | 40   | 520                             |
| 11      | Котельниково     | 95   | 25  | 50   | 470                             |
| 12      | Астрахань        | 74   | 31  | 40   | 590                             |
| 13      | Воронеж          | 102  | 28  | 50   | 520                             |
| 14      | Агинское         | 117  | 53  | 20   | 670                             |
| 16      | Тыган-Уркан      | 135  | 35  | 40   | 1020                            |
| 17      | Норский Склад    | 75   | 23  | 20   | 380                             |
| 18      | Дербент          | 61   | 19  | 50   | 520                             |
| 19      | Эльтон           | 37   | 14  | 50   | 1070                            |
| 20      | Багдарин         | 32   | 12  | 40   | 370                             |
| 21      | Волгоград        | 51   | 17  | 50   | 1050                            |
| 22      | Рубцовск         | 72   | 32  | 30   | 390                             |
| 23      | Дамбуки          | 100  | 30  | 30   | 1180                            |
| 24      | Орел             | 33   | 14  | 30   | 240                             |
| 25      | Коткино          | 47   | 18  | 30   | 440                             |
| 26      | Балашов          | 35   | 13  | 50   | 990                             |
| 27      | Умба             | 44   | 18  | 50   | 570                             |
| 28      | Туринск          | 56   | 21  | 50   | 1080                            |
| 29      | Оренбург         | 66   | 19  | 30   | 480                             |
| 30      | Выкса            | 130  | 43  | 30   | 340                             |
| 31      | Кувандык         | 79   | 35  | 30   | 1130                            |
| 32      | Сосуново         | 54   | 16  | 40   | 600                             |
| 33      | Владикавказ      | 61   | 23  | 50   | 580                             |
| 34      | Богополь         | 103  | 42  | 40   | 490                             |
| 35      | Саранск          | 116  | 48  | 30   | 850                             |
| 36      | Енисейск         | 109  | 29  | 30   | 730                             |
| 37      | Москва           | 41   | 11  | 50   | 760                             |
| 38      | Пулозеро         | 77   | 25  | 50   | 1100                            |
| 39      | Волочанка        | 63   | 19  | 30   | 540                             |
| 40      | Севастополь      | 35   | 10  | 40   | 310                             |
| 41      | Чухлома          | 82   | 22  | 30   | 760                             |
| 42      | Индига           | 108  | 39  | 50   | 1030                            |
| 43      | Тихорецк         | 106  | 30  | 30   | 1120                            |
| 44      | Аркагала         | 67   | 24  | 40   | 880                             |
| 45      | Керчь            | 45   | 26  | 40   | 410                             |

## Приложение 2. Технические характеристики вентиляторов

### ER25Cpro, GR25Cpro

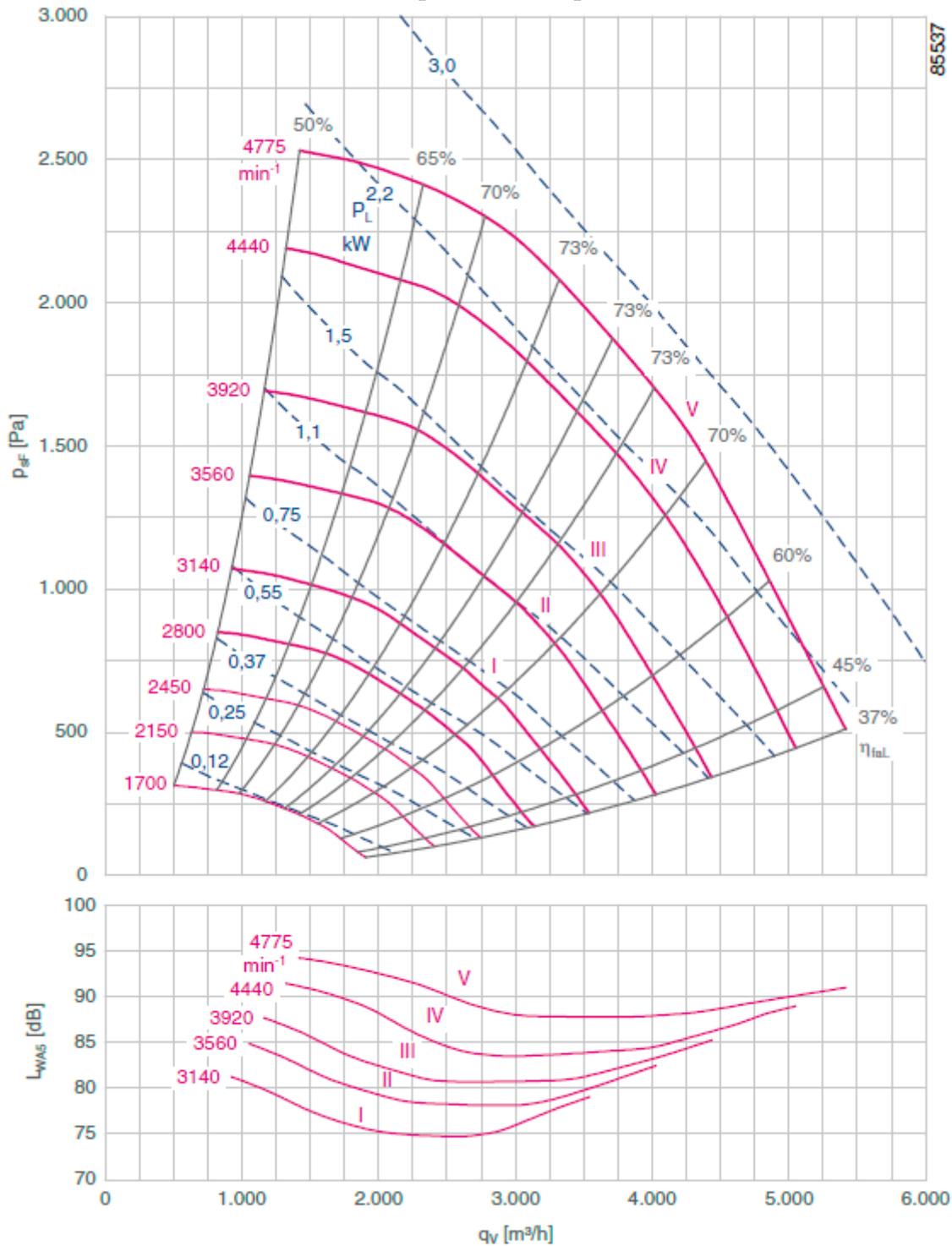


#### Технические характеристики

| Номинальная потребляемая мощность<br>$P_N$<br>кВт | Тип<br>ER / GR* | Типоразмер электродвигателя | № характеристической кривой | Номинальная частота вращения<br>$n_N$<br>[мин <sup>-1</sup> ] | Номинальный ток<br>$I_N$<br>А | Макс. частота вращения<br>$n_{max}$<br>[мин <sup>-1</sup> ] | Макс. частота<br>$f_{max}$<br>Гц |
|---|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|---|-------------------------------|---|----------------------------------|
| 0.75  | ER25C-2DN.B7.CR | 80M                         | I                           | 2875  | 1.68                          | 3800  | 67                               |
| 1.10  | ER25C-2DN.B7.CR | 80M                         | II                          | 2875  | 2.37                          | 4300  | 76                               |
| 1.50  | ER25C-2DN.C7.CR | 90S                         | III                         | 2890  | 3.13                          | 4740  | 83                               |
| 2.20  | ER25C-2DN.D7.CR | 90L                         | IV                          | 2890  | 4.48                          | 5350  | 94                               |

\* Вентиляторы с рабочими колесами ER..Cpro и GR..Cpro имеют одинаковые технические характеристики

## ER28Cpro, GR28Cpro

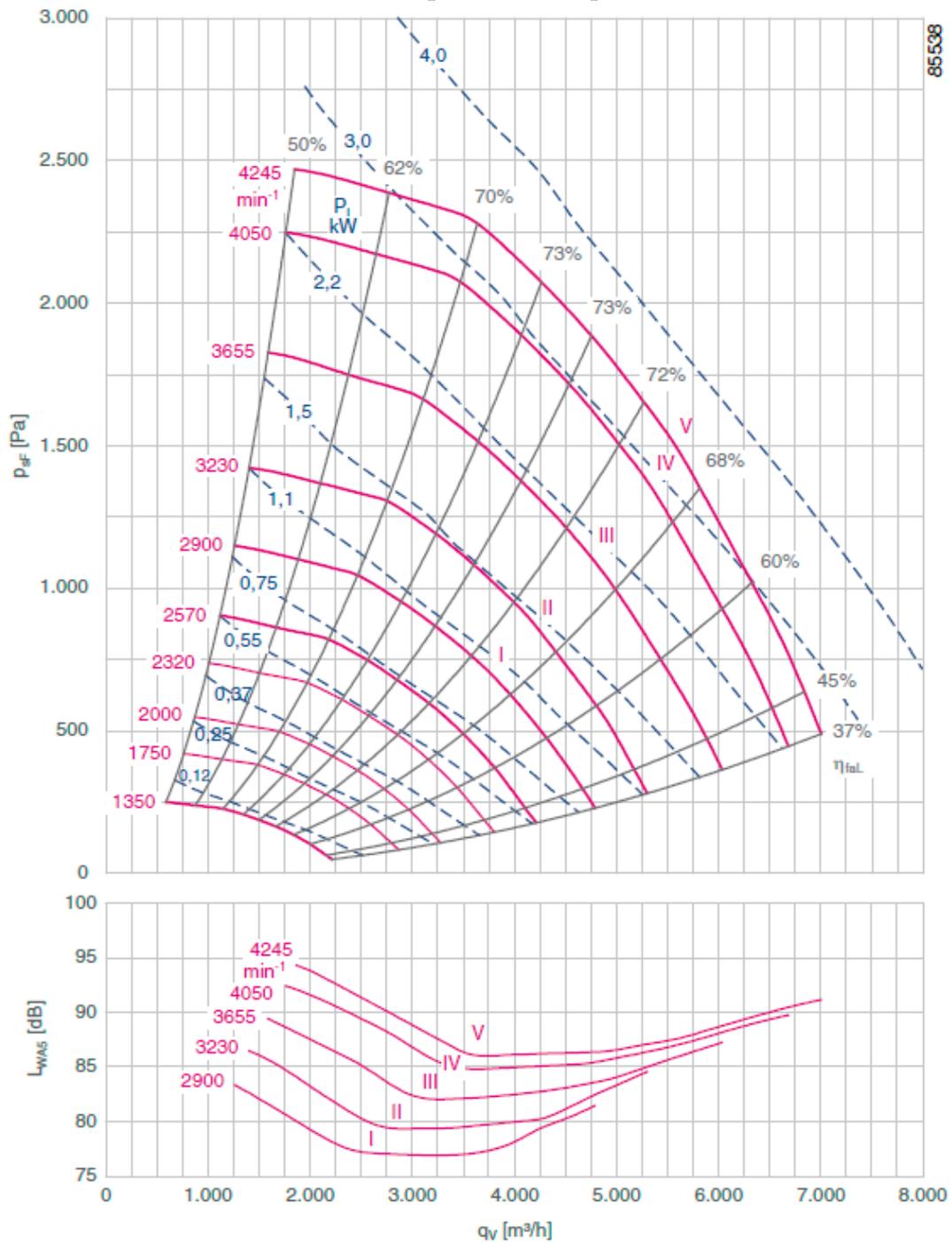


### Технические характеристики

| Номинальная потребляемая мощность<br>$P_N$<br>кВт | Тип<br>ER / GR* | Типоразмер электродвигателя | № характеристической кривой | Номинальная частота вращения<br>$n_N$<br>[мин <sup>-1</sup> ] | Номинальный ток<br>$I_N$<br>А | Макс. частота вращения<br>$n_{max}$<br>[мин <sup>-1</sup> ] | Макс. частота вращения<br>$f_{max}$<br>Гц |
|---|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|---|-------------------------------|---|---|
| 0.75  | ER28C-2DN.B7.CR | 80M                         | I                           | 2875  | 1.68                          | 3140  | 56  |
| 1.10  | ER28C-2DN.B7.CR | 80M                         | II                          | 2875  | 2.37                          | 3560  | 63  |
| 1.50  | ER28C-2DN.C7.CR | 90S                         | III                         | 2890  | 3.13                          | 3920  | 69  |
| 2.20  | ER28C-2DN.D7.CR | 90L                         | IV                          | 2890  | 4.48                          | 4440  | 78  |
| 3.00  | ER28C-2DN.E7.CR | 100L                        | V                           | 2891  | 5.86                          | 4775  | 83  |

\* Вентиляторы с рабочими колесами ER...Cпро и GR...Cпро имеют одинаковые технические характеристики

## ER31Cpro, GR31Cpro

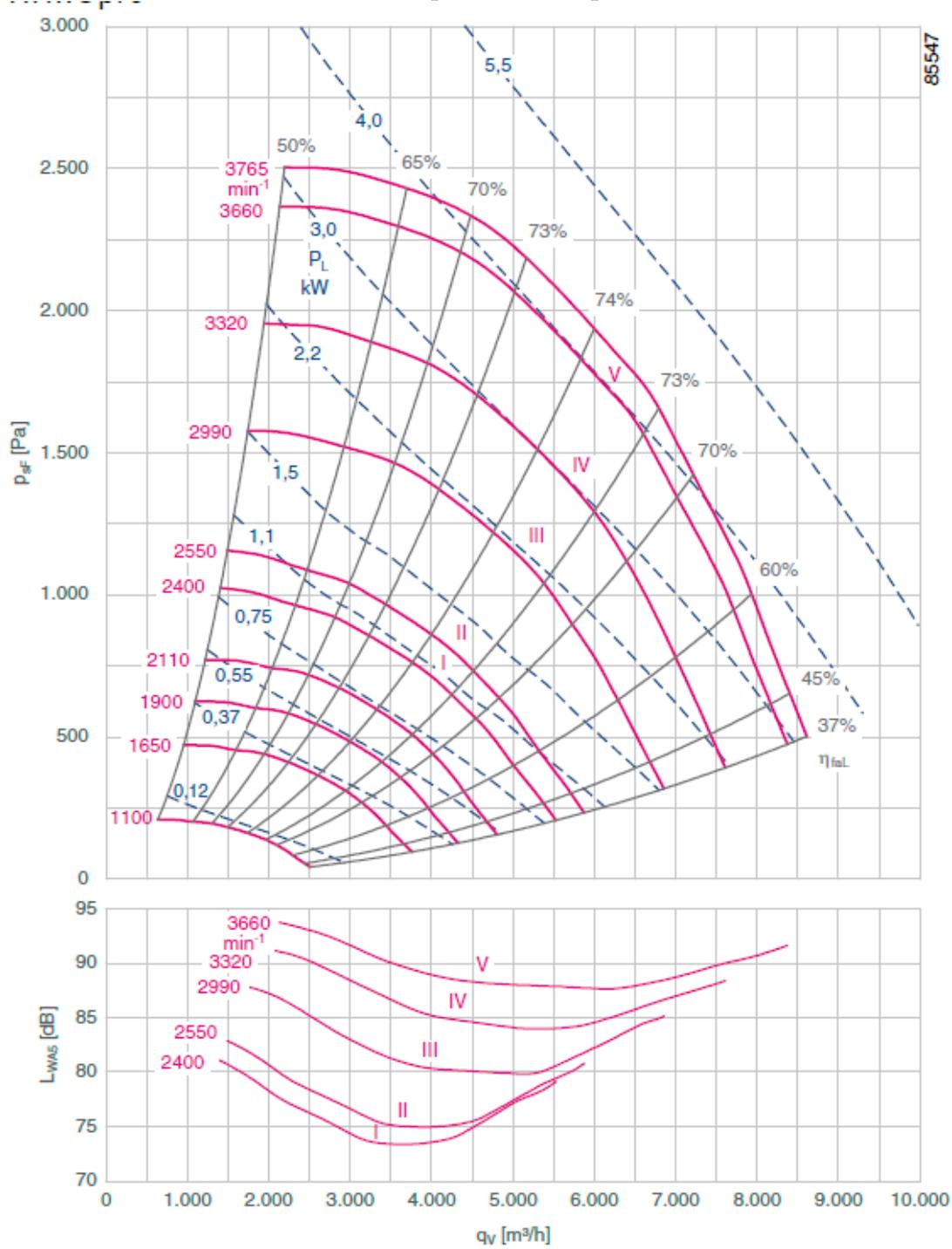


### Технические характеристики

| Номинальная потребляемая мощность<br>$P_N$<br>кВт | Тип<br>ER / GR* | Типоразмер электродвигателя | № характеристической кривой | Номинальная частота вращения<br>$n_N$<br>[мин <sup>-1</sup> ] | Номинальный ток<br>$I_N$<br>А | Макс. частота вращения<br>$n_{\text{макс}}$<br>[мин <sup>-1</sup> ] | Макс. частота<br>$f_{\text{макс}}$<br>Гц |
|---|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|---|-------------------------------|---|--|
| 1.10  | ER31C-2DN.B7.CR | 80M                         | I                           | 2875  | 2.37                          | 2900  | 51                                       |
| 1.50  | ER31C-2DN.C7.CR | 90S                         | II                          | 2890  | 3.13                          | 3230  | 57                                       |
| 2.20  | ER31C-2DN.D7.CR | 90L                         | III                         | 2890  | 4.48                          | 3655  | 64                                       |
| 3.00  | ER31C-2DN.E7.CR | 100L                        | IV                          | 2891  | 5.86                          | 4050  | 70                                       |
| 4.00  | ER31C-2DN.F7.CR | 112M                        | V                           | 2900  | 7.65                          | 4245  | 74                                       |

\* Вентиляторы с рабочими колесами ER..Cpro и GR..Cpro имеют одинаковые технические характеристики

## ER35Cpro, GR35Cpro

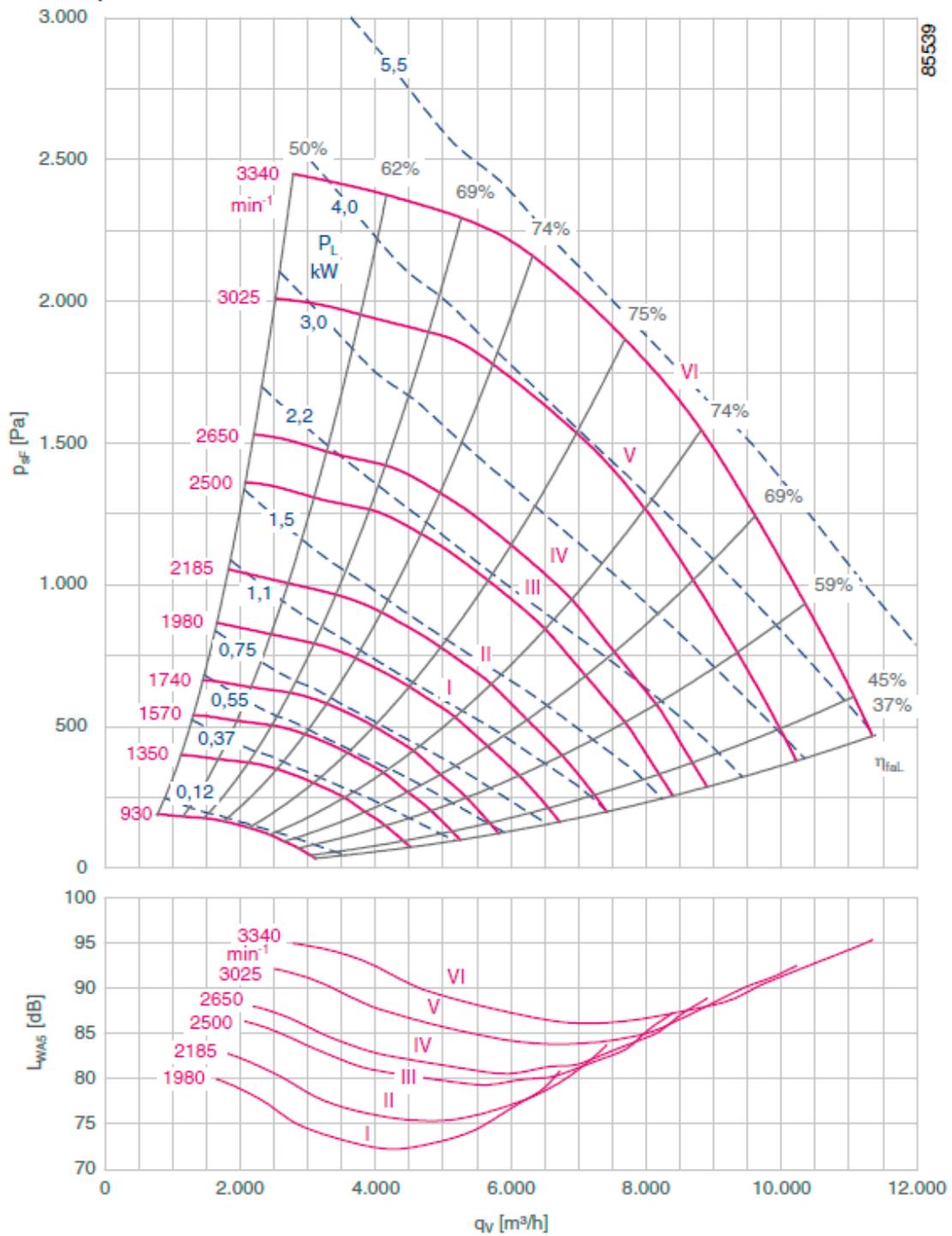


### Технические характеристики

| Номинальная потребляемая мощность<br>$P_N$<br>кВт | Тип<br>ER / GR* | Типоразмер электродвигателя | NQ характеристической кривой | Номинальная частота вращения<br>$n_N$<br>[мин <sup>-1</sup> ] | Номинальный ток<br>$I_N$<br>А | Макс. частота вращения<br>$n_{max}$<br>[мин <sup>-1</sup> ] | Макс. частота вращения<br>$f_{max}$<br>Гц |
|---|-----------------|-----------------------------|------------------------------|---|-------------------------------|---|---|
| 1.10  | ER35C-4DN.C7.CR | 90S                         | I                            | 1400  | 2.53                          | 2400  | 86  |
| 1.50  | ER35C-4DN.D7.CR | 90L                         | II                           | 1445  | 3.39                          | 2640  | 94  |
| 2.20  | ER35C-2DN.D7.CR | 90L                         | III                          | 2890  | 4.48                          | 2990  | 53  |
| 3.00  | ER35C-2DN.E7.CR | 100L                        | IV                           | 2891  | 5.86                          | 3320  | 58  |
| 4.00  | ER35C-2DN.F7.CR | 112M                        | V                            | 2900  | 7.65                          | 3660  | 64  |

\* Вентиляторы с рабочими колесами ER...Cпро и GR...Cпро имеют одинаковые технические характеристики

## ER40Cpro, GR40Cpro

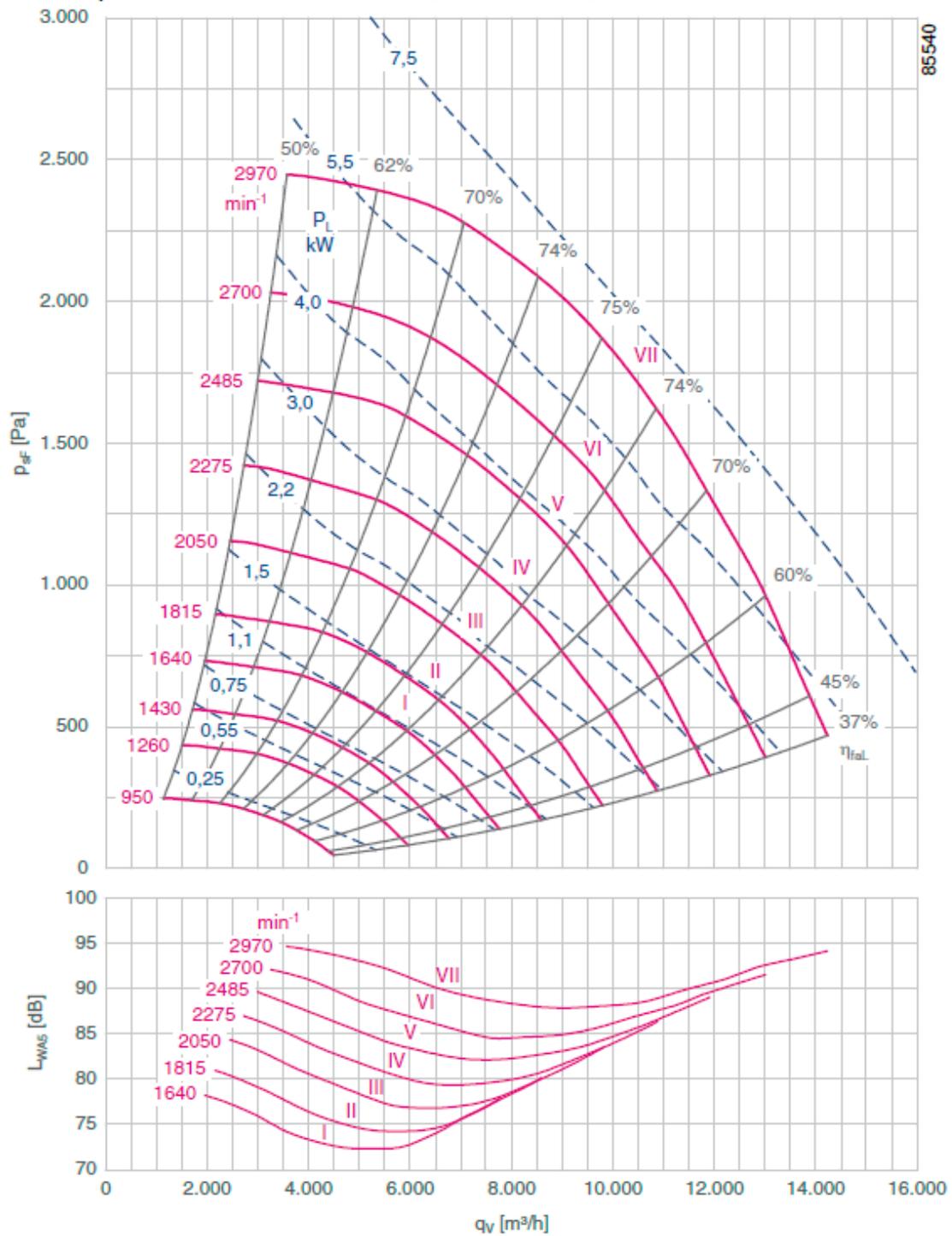


### Технические характеристики

| Номинальная потребляемая мощность<br>$P_N$<br>кВт | Тип<br>ER / GR* | Типоразмер электродвигателя | № характеристической кривой | Номинальная частота вращения<br>$n_n$<br>[мин <sup>-1</sup> ] | Номинальный ток<br>$I_n$<br>А | Макс. частота вращения<br>$n_{max}$<br>[мин <sup>-1</sup> ] | Макс. частота<br>$f_{max}$<br>Гц |
|---|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|---|-------------------------------|---|----------------------------------|
| 1.10  | ER40C-4DN.C7.CR | 90S                         | I                           | 1400  | 2.53                          | 1980  | 71                               |
| 1.50  | ER40C-4DN.D7.CR | 90L                         | II                          | 1445  | 3.39                          | 2185  | 78                               |
| 2.20  | ER40C-4DN.E7.CR | 100L                        | III                         | 1440  | 4.65                          | 2500  | 87                               |
| 3.00  | ER40C-4DN.E7.CR | 100L                        | IV                          | 1440  | 6.18                          | 2650  | 93                               |
| 4.00  | ER40C-2DN.F7.CR | 112M                        | V                           | 2900  | 7.65                          | 3025  | 53                               |
| 5.50  | ER40C-2DN.G7.CR | 132S                        | VI                          | 2900  | 10.60                         | 3340  | 58                               |

\* Вентиляторы с рабочими колесами ER...Cпро и GR...Cпро имеют одинаковые технические характеристики

## ER45Cpro, GR45Cpro

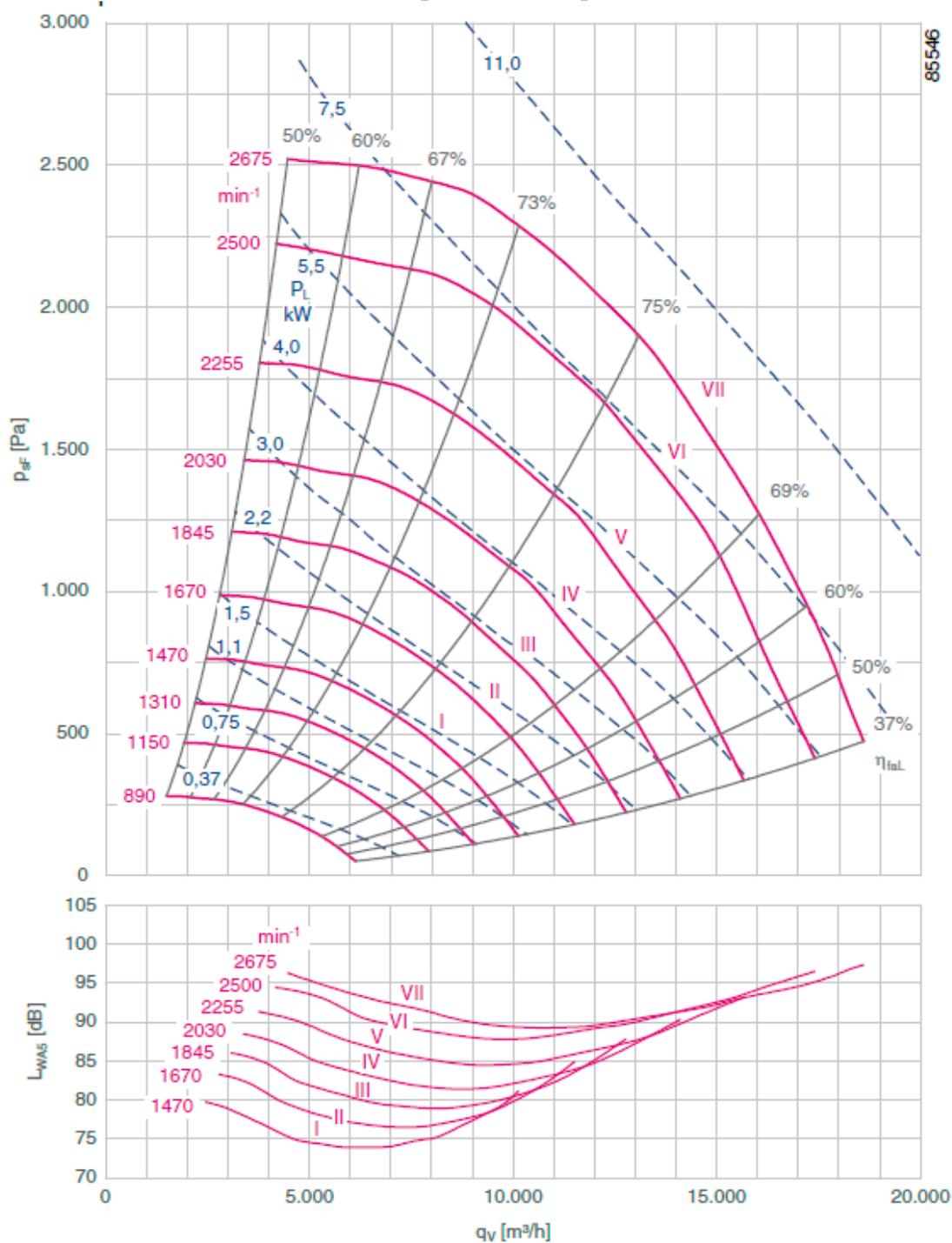


### Технические характеристики

| Номинальная потребляемая мощность<br>$P_N$<br>кВт | Тип<br>ER / GR* | Типоразмер электродвигателя | № характеристической кривой | Номинальная частота вращения<br>$n_N$<br>[мин <sup>-1</sup> ] | Номинальный ток<br>$I_N$<br>А | Макс. частота вращения<br>$n_{max}$<br>[мин <sup>-1</sup> ] | Макс. частота<br>$f_{max}$<br>Гц |
|---|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|---|-------------------------------|---|----------------------------------|
| 1.10  | ER45C-4DN.C7.CR | 90S                         | I                           | 1400  | 2.53                          | 1640  | 59                               |
| 1.50  | ER45C-4DN.D7.CR | 90L                         | II                          | 1445  | 3.39                          | 1815  | 65                               |
| 2.20  | ER45C-4DN.E7.CR | 100L                        | III                         | 1440  | 4.65                          | 2050  | 71                               |
| 3.00  | ER45C-4DN.E7.CR | 100L                        | IV                          | 1440  | 6.18                          | 2275  | 80                               |
| 4.00  | ER45C-4DN.F7.CR | 112M                        | V                           | 1450  | 8.13                          | 2485  | 86                               |
| 5.50  | ER45C-4DN.G7.CR | 132S                        | VI                          | 1460  | 10.90                         | 2760  | 96                               |
| 7.50  | ER45C-2DN.G7.CR | 132S                        | VII                         | 2940  | 13.90                         | 2970  | 51                               |

\* Вентиляторы с рабочими колесами ER...Cпро и GR...Cпро имеют одинаковые технические характеристики

## ER50Cpro, GR50Cpro

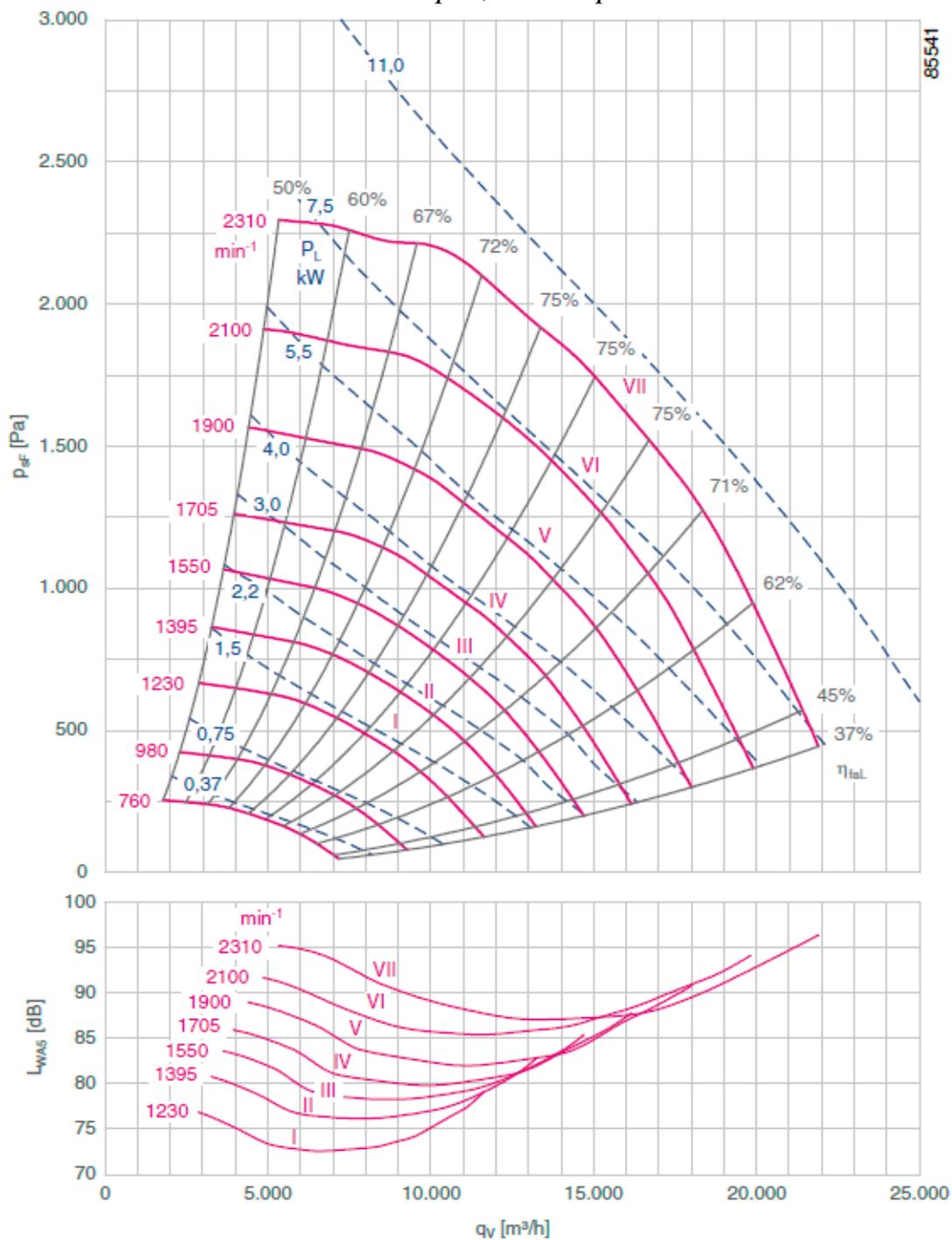


### Технические характеристики

| Номинальная потребляемая мощность<br>$P_N$<br>кВт | Тип<br>ER / GR* | Типоразмер электродвигателя | № характеристической кривой | Номинальная частота вращения<br>$n_N$<br>[мин <sup>-1</sup> ] | Номинальный ток<br>$I_N$<br>А | Макс. частота вращения<br>$n_{max}$<br>[мин <sup>-1</sup> ] | Макс. частота<br>$f_{max}$<br>Гц |
|---|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|---|-------------------------------|---|----------------------------------|
| 1.50  | ER50C-4DN.D7.CR | 90L                         | I                           | 1445  | 3.39                          | 1470  | 53                               |
| 2.20  | ER50C-4DN.E7.CR | 100L                        | II                          | 1440  | 4.65                          | 1670  | 58                               |
| 3.00  | ER50C-4DN.E7.CR | 100L                        | III                         | 1440  | 6.18                          | 1845  | 65                               |
| 4.00  | ER50C-4DN.F7.CR | 112M                        | IV                          | 1450  | 8.13                          | 2030  | 70                               |
| 5.50  | ER50C-4DN.G7.CR | 132S                        | V                           | 1460  | 10.90                         | 2255  | 78                               |
| 7.50  | ER50C-4DN.H7.CR | 132M                        | VI                          | 1460  | 14.50                         | 2500  | 87                               |
| 11.00   | ER50C-4DN.I7.CR | 160M                        | VII                         | 1470  | 21.00                         | 2675  | 92                               |

\* Вентиляторы с рабочими колесами ER...Срго и GR...Срго имеют одинаковые технические характеристики

## ER56Cpro, GR56Cpro

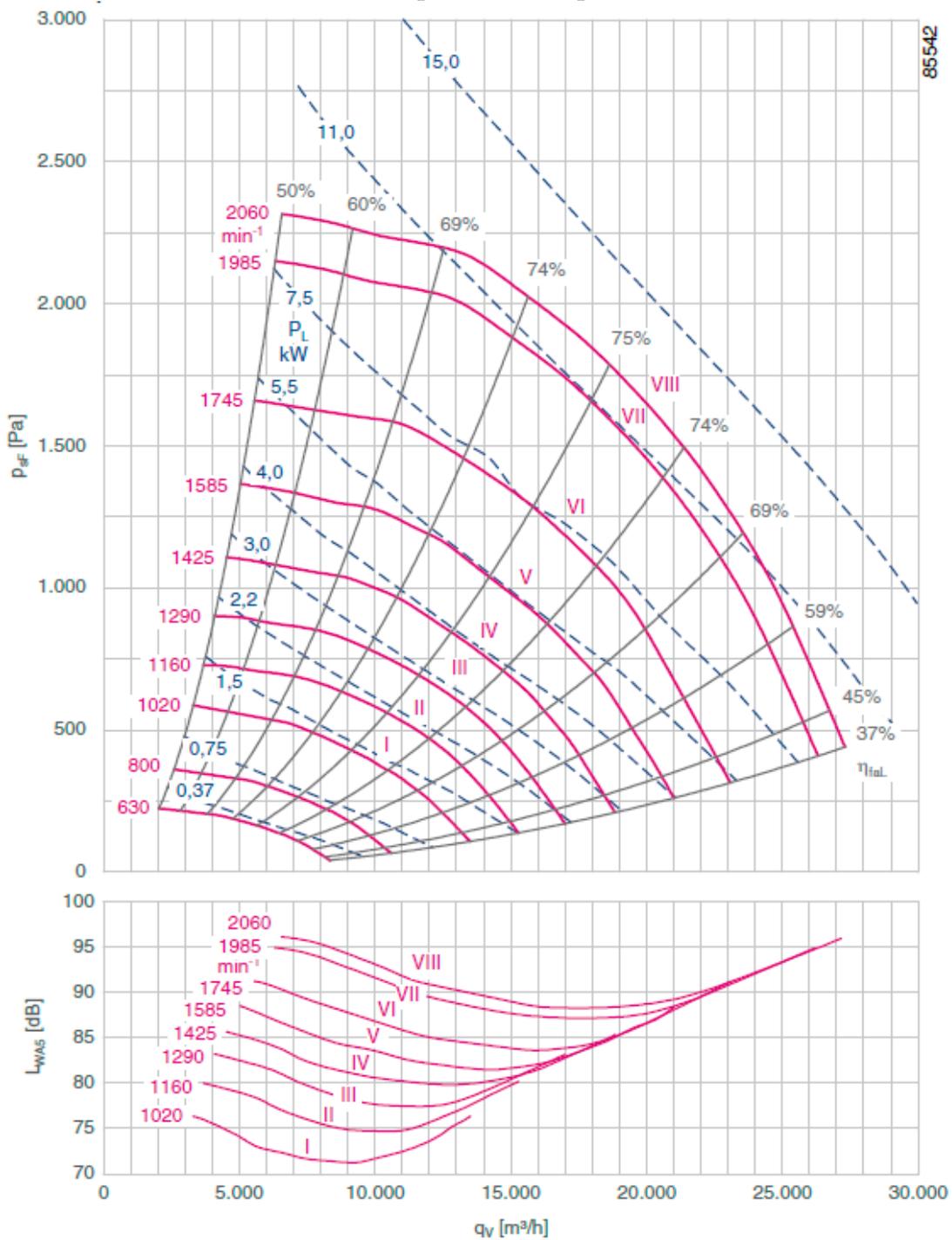


### Технические характеристики

| Номинальная потребляемая мощность<br>$P_N$<br>кВт | Тип<br>ER / GR* | Типоразмер электродвигателя | NQ характеристической кривой | Номинальная частота вращения<br>$n_N$<br>[мин <sup>-1</sup> ] | Номинальный ток<br>$I_N$<br>А | Макс. частота вращения<br>$n_{max}$<br>[мин <sup>-1</sup> ] | Макс. частота<br>$f_{max}$<br>Гц |
|---|-----------------|-----------------------------|------------------------------|---|-------------------------------|---|----------------------------------|
| 1.50  | ER56C-6DN.E7.CR | 100L                        | I                            | 940   | 3.62                          | 1230  | 65                               |
| 2.20  | ER56C-4DN.E7.CR | 100L                        | II                           | 1440  | 4.65                          | 1395  | 48                               |
| 3.00  | ER56C-4DN.E7.CR | 100L                        | III                          | 1440  | 6.18                          | 1550  | 55                               |
| 4.00  | ER56C-4DN.F7.CR | 112M                        | IV                           | 1450  | 8.13                          | 1705  | 59                               |
| 5.50  | ER56C-4DN.G7.CR | 132S                        | V                            | 1460  | 10.90                         | 1900  | 66                               |
| 7.50  | ER56C-4DN.H7.CR | 132M                        | VI                           | 1460  | 14.50                         | 2100  | 73                               |
| 11.00   | ER56C-4DN.I7.CR | 160M                        | VII                          | 1470  | 21.00                         | 2310  | 79                               |

\* Вентиляторы с рабочими колесами ER...Cпро и GR...Cпро имеют одинаковые технические характеристики

## ER63Cpro, GR63Cpro



### Технические характеристики

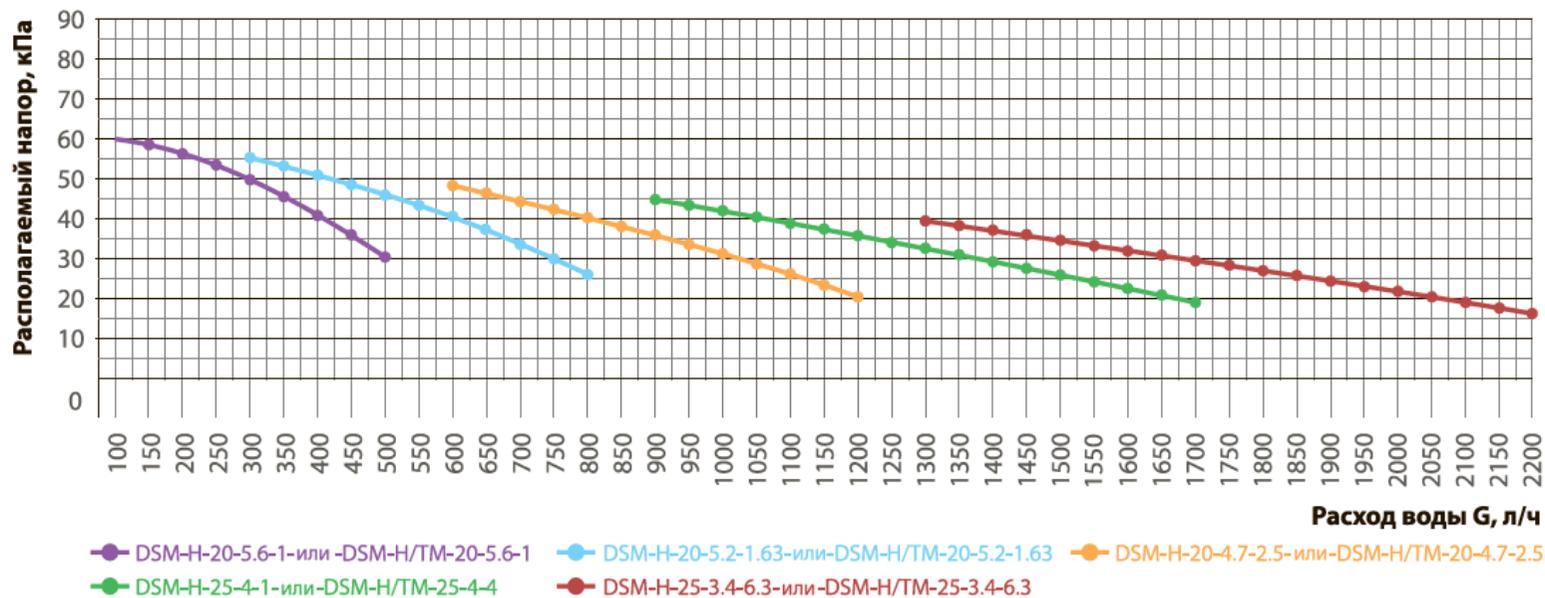
| Номинальная потребляемая мощность<br>$P_N$<br>кВт | Тип<br>ER / GR* | Типоразмер электродвигателя | № характеристической кривой | Номинальная частота вращения<br>$n_N$<br>[мин <sup>-1</sup> ] | Номинальный ток<br>$I_N$<br>А | Макс. частота вращения<br>$n_{max}$<br>[мин <sup>-1</sup> ] | Макс. частота<br>$f_{max}$<br>Гц |
|---|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|---|-------------------------------|---|----------------------------------|
| 1.50  | ER63C-6DN.E7.CR | 100L                        | I                           | 940   | 3.62                          | 1020  | 54                               |
| 2.20  | ER63C-6DN.F7.CR | 112M                        | II                          | 960   | 5.11                          | 1160  | 61                               |
| 3.00  | ER63C-6DN.G7.CR | 132S                        | III                         | 960   | 6.84                          | 1290  | 67                               |
| 4.00  | ER63C-4DN.F7.CR | 112M                        | IV                          | 1450  | 8.13                          | 1425  | 49                               |
| 5.50  | ER63C-4DN.G7.CR | 132S                        | V                           | 1460  | 10.90                         | 1585  | 55                               |
| 7.50  | ER63C-4DN.H7.CR | 132M                        | VI                          | 1460  | 14.50                         | 1745  | 61                               |
| 11.00   | ER63C-4DN.I7.CR | 160M                        | VII                         | 1470  | 21.00                         | 1985  | 68                               |
| 15.00   | ER63C-4DN.K7.CR | 160L                        | VIII                        | 1470  | 28.40                         | 2060  | 71                               |

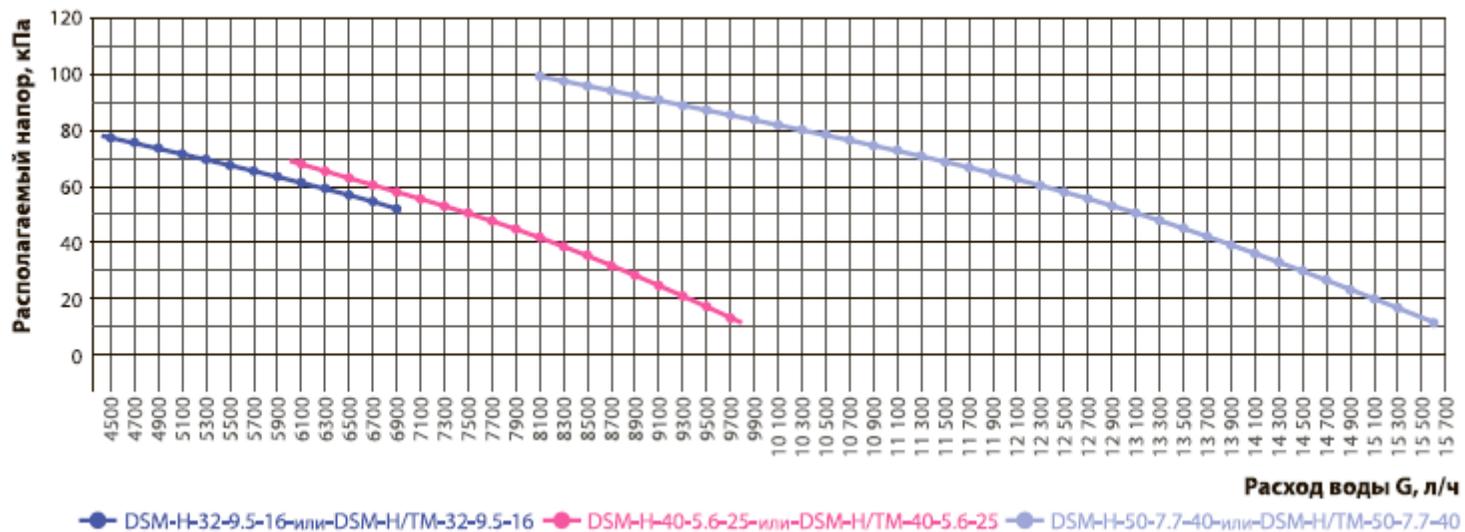
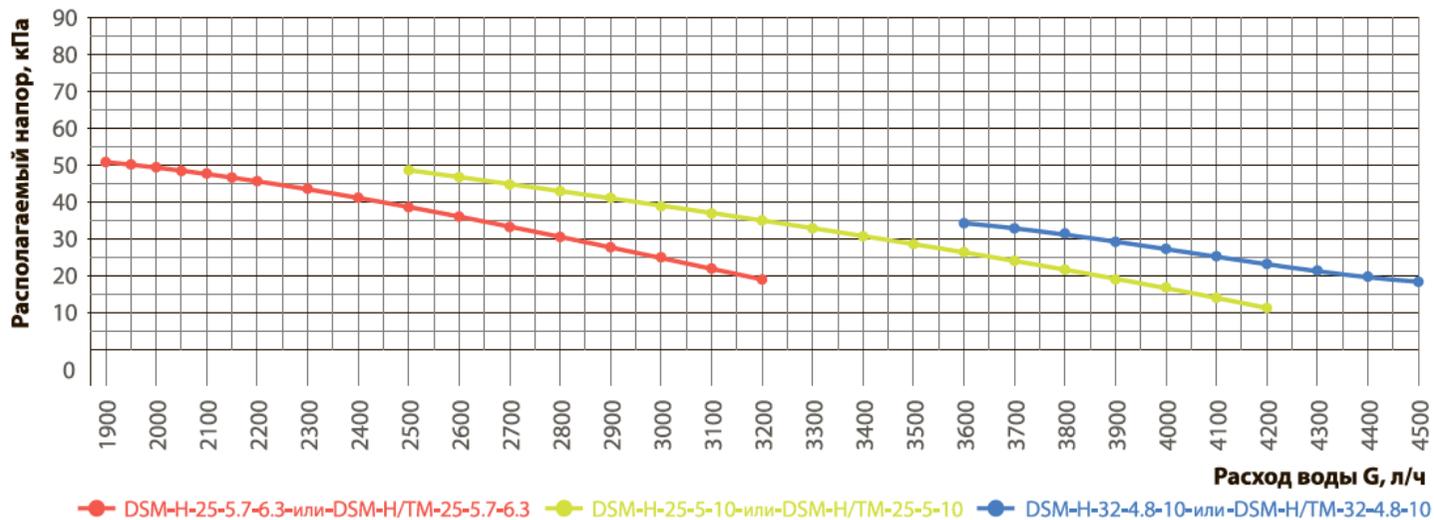
\* Вентиляторы с рабочими колесами ER...Cпро и GR...Cпро имеют одинаковые технические характеристики

Приложение 3. Характеристики водяных калориферов КСк

| Наименование калорифера | Площадь, м <sup>2</sup> |                      |                    |                  |  | Коэффициент гидравлического сопротивления |       |
|-------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|------------------|--|---|-------|
|                         | Поверхности нагрева     | Фронтального сечения | сечения коллектора | сечения патрубка | живого сечения для прохода теплоносителя |   |       |
| КСк 2-1                 | 6.7                     | 0.197                | 0.00152            | 0.00101          | 0.00056                                  | 7.33                                      |       |
| КСк 2-2                 | 8.2                     | 0.244                |                    |                  |  | 7.94                                      |       |
| КСк 2-3                 | 9.8                     | 0.290                |                    |                  |  | 8.54                                      |       |
| КСк 2-4                 | 11.3                    | 0.337                |                    |                  |  | 9.14                                      |       |
| КСк 2-5                 | 14.4                    | 0.430                |                    |                  |  | 10.35                                     |       |
| КСк 2-6                 | 9.0                     | 0.267                |                    |                  | 0.00076                                  | 8.79                                      |       |
| КСк 2-7                 | 11.1                    | 0.329                |                    |                  |  | 9.40                                      |       |
| КСк 2-8                 | 13.2                    | 0.392                |                    |                  |  | 10.00                                     |       |
| КСк 2-9                 | 15.3                    | 0.455                |                    |                  |  | 10.60                                     |       |
| КСк 2-10                | 19.5                    | 0.581                |                    |                  |  | 11.81                                     |       |
| КСк 2-11                | 57.1                    | 1.660                |                    |                  | 0.00221                                  | 0.00156                                   | 21.99 |
| КСк 2-12                | 86.2                    | 2.488                |                    |                  |  | 0.00236                                   | 36.00 |
| КСк 3-1                 | 10.2                    | 0.197                | 0.00164            | 0.00101          | 0.00086                                  | 9.11                                      |       |
| КСк 3-2                 | 12.5                    | 0.244                |                    |                  |  | 9.68                                      |       |
| КСк 3-3                 | 14.9                    | 0.290                |                    |                  |  | 10.25                                     |       |
| КСк 3-4                 | 17.3                    | 0.337                |                    |                  |  | 10.82                                     |       |
| КСк 3-5                 | 22.1                    | 0.430                |                    |                  |  | 11.96                                     |       |
| КСк 3-6                 | 13.7                    | 0.267                |                    |                  | 0.00116<br>(0.00077)                     | 12.12(12.21)                              |       |
| КСк 3-7                 | 16.9                    | 0.329                |                    |                  |  | 12.97(12.81)                              |       |
| КСк 3-8                 | 20.1                    | 0.392                |                    |                  |  | 13.83(13.81)                              |       |
| КСк 3-9                 | 23.3                    | 0.455                |                    |                  |  | 14.68(14.02)                              |       |
| КСк 3-10                | 29.7                    | 0.581                |                    |                  |  | 16.39(15.22)                              |       |
| КСк 3-11                | 86.2                    | 1.660                |                    |                  | 0.00221                                  | 0.00235                                   | 34.25 |
| КСк 3-12                | 129.9                   | 2.488                |                    |                  |  | 0.00355                                   | 64.29 |
| КСк 4-1                 | 13.3                    | 0.197                | 0.00224            | 0.00101          | 0.00113                                  | 9.62                                      |       |
| КСк 4-2                 | 16.4                    | 0.244                |                    |                  |  | 10.17                                     |       |
| КСк 4-3                 | 19.5                    | 0.290                |                    |                  |  | 10.74                                     |       |
| КСк 4-4                 | 22.6                    | 0.337                |                    |                  |  | 11.31                                     |       |
| КСк 4-5                 | 28.8                    | 0.430                |                    |                  |  | 12.45                                     |       |
| КСк 4-6                 | 18.0                    | 0.267                |                    |                  | 0.00153<br>(0.00102)                     | 13.01(11.89)                              |       |
| КСк 4-7                 | 22.2                    | 0.329                |                    |                  |  | 13.87(12.49)                              |       |
| КСк 4-8                 | 26.4                    | 0.392                |                    |                  |  | 14.72(13.09)                              |       |
| КСк 4-9                 | 30.6                    | 0.455                |                    |                  |  | 15.58(13.70)                              |       |
| КСк 4-10                | 39.0                    | 0.581                |                    |                  |  | 17.29(14.90)                              |       |
| КСк 4-11                | 114.2                   | 1.660                |                    |                  | 0.00221                                  | 0.00312                                   | 37.15 |
| КСк 4-12                | 172.4                   | 2.488                |                    |                  |  | 0.00471                                   | 71.19 |

Приложение 4. Расходные характеристики узлов регулирования  
**УЗЛЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ DSM-H (DSM-H/TM)**





## ЛИТЕРАТУРА

1. СП 131.13330.2012. Строительная климатология [Текст] / Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\*: издание официальное: утв. Приказом Министерства регионального развития РФ № 275 от 30.06.2012 г.: Ввод в действие с 1.01.2012. — М: Минрегион России, 2012. — 120 с.
2. I-d диаграмма состояния влажного воздуха [Диаграмма]/ Справочный материал.
3. Plug fan Cpro - PMblue and AMblue [Электронный ресурс] – Режим доступа: [er63cpro-datasheet.pdf](http://er63cpro-datasheet.pdf) ([ventilatorry.ru](http://ventilatorry.ru))
4. Компания ООО “Т.С.Т.”, Калориферы водяные серии КСк 02 ХЛЗ [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://zaotst.ru/files/Kalorifery\\_vodianye\\_KSk\\_katalog\\_2020.pdf](https://zaotst.ru/files/Kalorifery_vodianye_KSk_katalog_2020.pdf)
5. Компания Danfoss, Каталог “Узлы регулирования для воздухонагревателей и воздухоохладителей отопительно-вентиляционной системы” [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.c-o-k.ru/library/catalogs/danfoss/63980.pdf>
6. Компания Heatex АВ, HEATEX select [Электронный ресурс]: Heatex АВ. – Версия 502.0 – Электрон. дан. и прогр. – Режим доступа: <http://www.heatexrussia.ru/programs.php>
7. Компания Emerson, Selection software 8 [Электронный ресурс]: Emerson climate technologies. – Версия 8.10 – Электрон. дан. и прогр. – Режим доступа: [https://copeland.ru/programma\\_podbora\\_spiralnih\\_kompressorov\\_copeland\\_scroll](https://copeland.ru/programma_podbora_spiralnih_kompressorov_copeland_scroll)
8. Компания Danfoss system, Coolselector®2 [Электронный ресурс]: Danfoss Engineering tomorrow. – Версия 4.6.6 – Электрон. дан. и прогр. – Режим доступа: <https://www.danfoss.com/ru-ru/service-and-support/downloads/dcs/coolselector-2/#tab-overview>
9. Свистунов В.М., Пушняков Н.К. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: Учеб. для вузов. – СПб.: Политехника, 2005.
10. Стефанов Е. В. Вентиляция и кондиционирование воздуха. – СПб.: АВОК Северо-Запад, 2005.
11. Сотников А. Г. Проектирование и расчет систем вентиляции и кондиционирования воздуха // Полный комплекс требований, исходных данных и расчетной информации для СО, СПВ, СКВ, СГВС и СХС. Т.1. – СПб., 2013.

Муравейников Сергей Сергеевич  
Макатов Кирилл

**Проектирование  
вентиляционного агрегата  
для осушения воздуха**

**Учебно-методическое пособие**

В авторской редакции

Редакционно-издательский отдел Университета ИТМО

Зав. РИО

Н.Ф. Гусарова

Подписано к печати

Заказ №

Тираж

Отпечатано на ризографе



**Редакционно-издательский отдел**  
**Университета ИТМО**  
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49, литер А