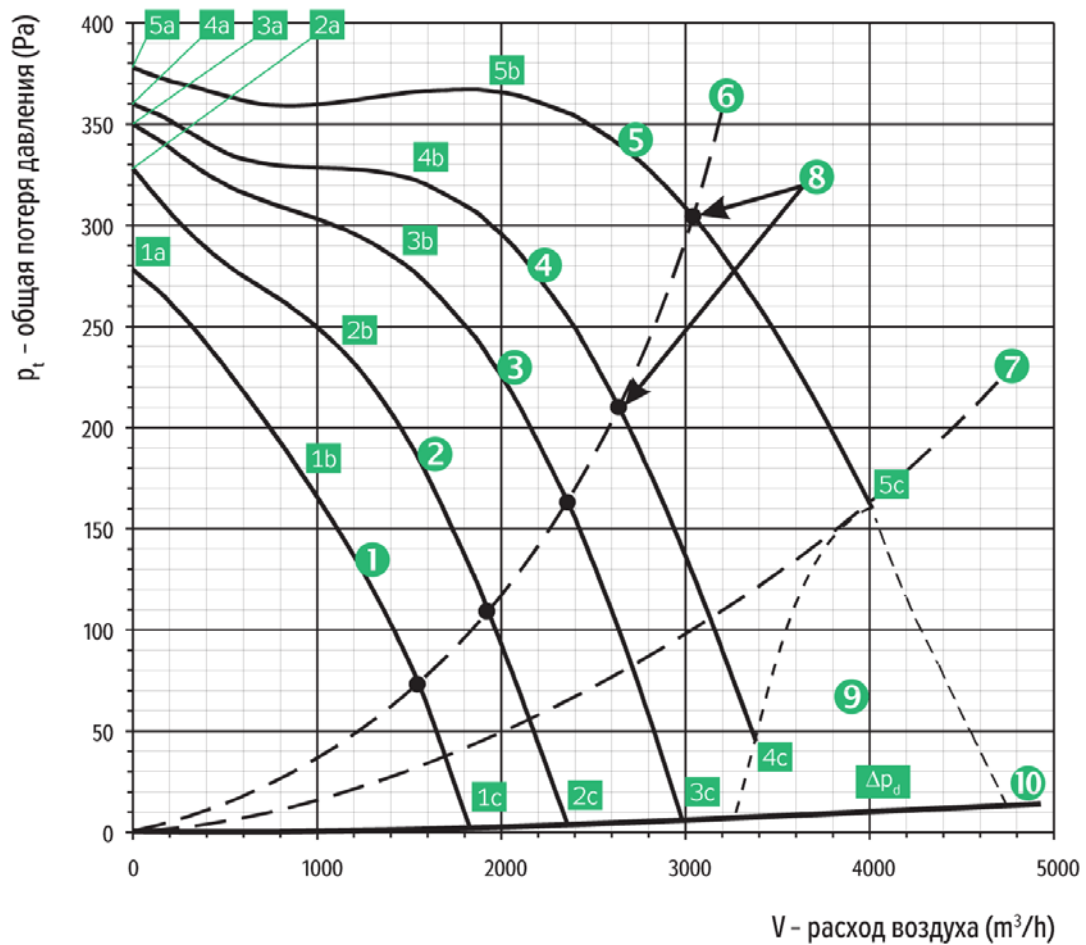


А.В. Цыганков, О.В. Долговская

# РАСЧЕТ КАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ В MS EXCEL



Санкт-Петербург  
2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

УНИВЕРСИТЕТ ИТМО

А.В. Цыганков, О.В. Долговская

**РАСЧЕТ КАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ  
КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ  
В MS EXCEL**

Учебно-методическое пособие

РЕКОМЕНДОВАНО К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ В УНИВЕРСИТЕТЕ ИТМО  
по направлению подготовки (специальности)

16.04.03 Холодильная, криогенная техника и системы  
жизнеобеспечения в качестве учебно-методического пособия  
для реализации основных профессиональных образовательных  
программ высшего образования бакалавриата и магистратуры

Санкт-Петербург  
2019

УДК 621

**Цыганков А.В., Долговская О.В.,** Расчёт канальной системы кондиционирования в MS EXCEL: Учеб-метод. пособие – СПб: Университет ИТМО, 2019. – 58 с.

**Рецензент: доктор техн. наук Гримитлин А.М.**

В учебно-методическом пособии рассматривается расчёт канальных систем кондиционирования из блоков «Vento system» в электронной таблице MS EXCEL.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММЫ.....	5
РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЯТОРОВ.....	7
ПОДБОР ПЛАСТИНЧАТОГО РЕКУПЕРАТОРА.....	9
ПОДБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОГРЕВАТЕЛЯ.....	11
ПОДБОР ВОЗДУШНОГО ФИЛЬТРА.....	14
ПОДБОР ЗАСЛОНОК.....	18
ПОДБОР ВОДЯНОГО ОБОГРЕВАТЕЛЯ.....	20
РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В КАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ.....	22
ОФОРМЛЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ.....	24
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	25
ЛИТЕРАТУРА.....	26
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	27
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	41

## ВВЕДЕНИЕ

При проектировании систем кондиционирования и вентиляции воздуха часто возникает необходимость одновременно поддерживать нормируемые параметры микроклимата в различных помещениях. В таких случаях одним из возможных решений является применение канальных установок. Кондиционеры такого типа позволяют формировать системы различного уровня сложности, от простейших приточных и вытяжных устройств вентиляции с механическим побуждением до полноценных установок климатизации с блоками очистки, подогрева, охлаждения приточного воздуха и рекуперацией теплоты вытяжного воздуха.

Выпуск канальных систем освоен многими отечественными и зарубежными производителями которые при проектировании предлагают использовать разработанные ими специализированные компьютерные программы. Основным недостатком этих программ является, их нетранспарентность и ориентация на оборудование только конкретного производителя. В практике эксплуатации канальных систем кондиционирования и вентиляции воздуха часто возникает необходимость устанавливать блоки разных производителей и различных типоразмеров. Анализ работоспособности таких модифицированных установок и оценка их эффективности может проводится при наличии технических характеристик отдельных блоков, которые, как правило, можно найти в доступной технической документации производителей.

В данном учебном пособии студентам предлагается произвести проектировочный расчет канальной установки из блоков «Vento system» производства АО «Remak» в электронной таблице MS EXCEL. Подготовка и проведение расчётов состоит из последовательных этапов:

- формирование интерфейса программы,
- выбор типоразмера блоков канальной установки,
- аппроксимация технических характеристик блоков,
- расчет аэродинамических и термодинамических параметров блоков,
- определение рабочей точки вентиляторов,
- проведение расчетных исследований.

Проведение расчетов по предлагаемой методике позволит студентами приобрести и развить навыки использования технической документации и справочной литературы, а также самостоятельной расчетно- проектной работы в области климатической техники. Одной из целей методических указаний является оказание помощи студентам при работе над ВКР в области систем вентиляции и кондиционирования воздуха и проектировании теплообменного оборудования различного назначения.

## ИНТЕРФЕЙС ПРОГРАММЫ

Интерфейс программы расчета канальной системы зависит от технического задания на проектирование. В качестве примера рассмотрим приточно-вытяжную систему, показанную на рисунке 1. В состав установки входят: приточный вентилятор, вытяжной вентилятор, две заслонки, два карманных фильтра, электрический обогреватель и пластинчатый рекуперативный теплообменник. Будем полагать, что парные элементы одинаковые и их режимы работы идентичны. Расход воздуха 500 – 1800 м<sup>3</sup>/час, температура наружного (приточного) воздуха –30 +30 °С, температура воздуха в помещении (вытяжного) 0-40 °С, относительная влажность приточного и вытяжного воздуха в диапазоне 0–100 %. Необходимо рассчитать расход воздуха, его подогрев в обогревателе, и рекуператоре, и температуру воздуха на входе в помещение.

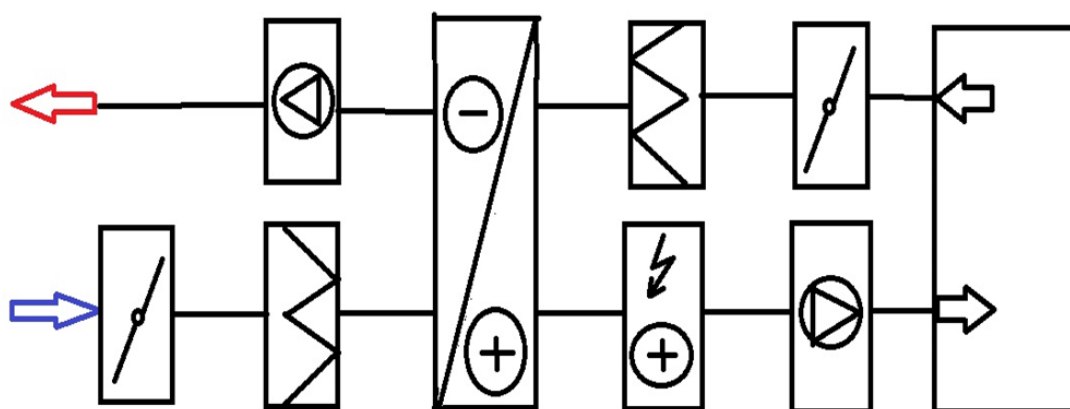


Рис. 1. Схема приточно-вытяжной канальной установки

Книга Excel состоит из семи листов. Лист «Расчет КУ» предназначен для ввода варьируемых параметров и представления результатов расчета. Для ввода параметров использованы полосы прокрутки, для размещения которых на листе необходимо перейти на вкладку «Разработчик», активировать команду «Вставить» и из отрывшегося меню выбрать необходимый элемент управления. Все необходимые параметры элемента управления могут быть заданы при активации меню «Свойства», расположенном на вкладке «Разработчик», либо после активации меню «Формат объекта», которое открывается щелчком правой кнопки мыши на выбранном элементе управления. Возможный вариант интерфейса показан на рисунке 2.

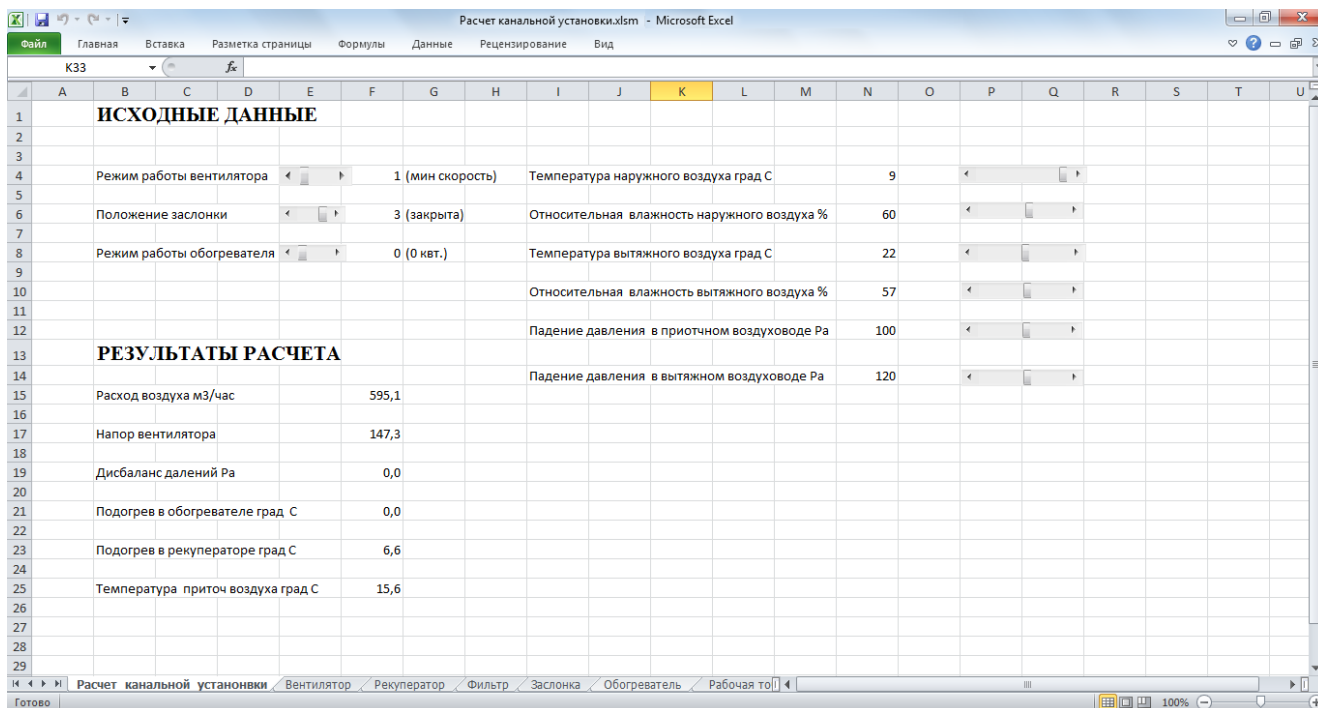


Рис. 2. Интерфейс программы

Поперечное сечение воздуховодов канальной установки зависит от требуемого расхода воздуха. Для «Vento system» предусмотрено девять типоразмеров. Рекомендуемый диапазон расходов приведен в таблице 1.

Таблица 1. Типоразмеры воздуховодов

Сечение воздуховода, мм	Минимальный расход воздуха, м <sup>3</sup> /час	Максимальный расход воздуха, м <sup>3</sup> /час
1000x500	3500	10000
900x500	3500	9500
800x500	2800	7100
700x400	2000	6500
600x350	1500	4500
600x300	1000	3200
500x300	900	2900
500x250	800	1800
400x200	500	1300

## РАБОЧИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЕНТИЛЯТОРОВ

Радиальные канальные вентиляторы регулируются в широком диапазоне режимных параметров и могут эксплуатироваться на одной из пяти ступеней мощности. На рисунке 3 приведены типичные напор-расходные характеристики вентилятора и сети воздухопроводов.

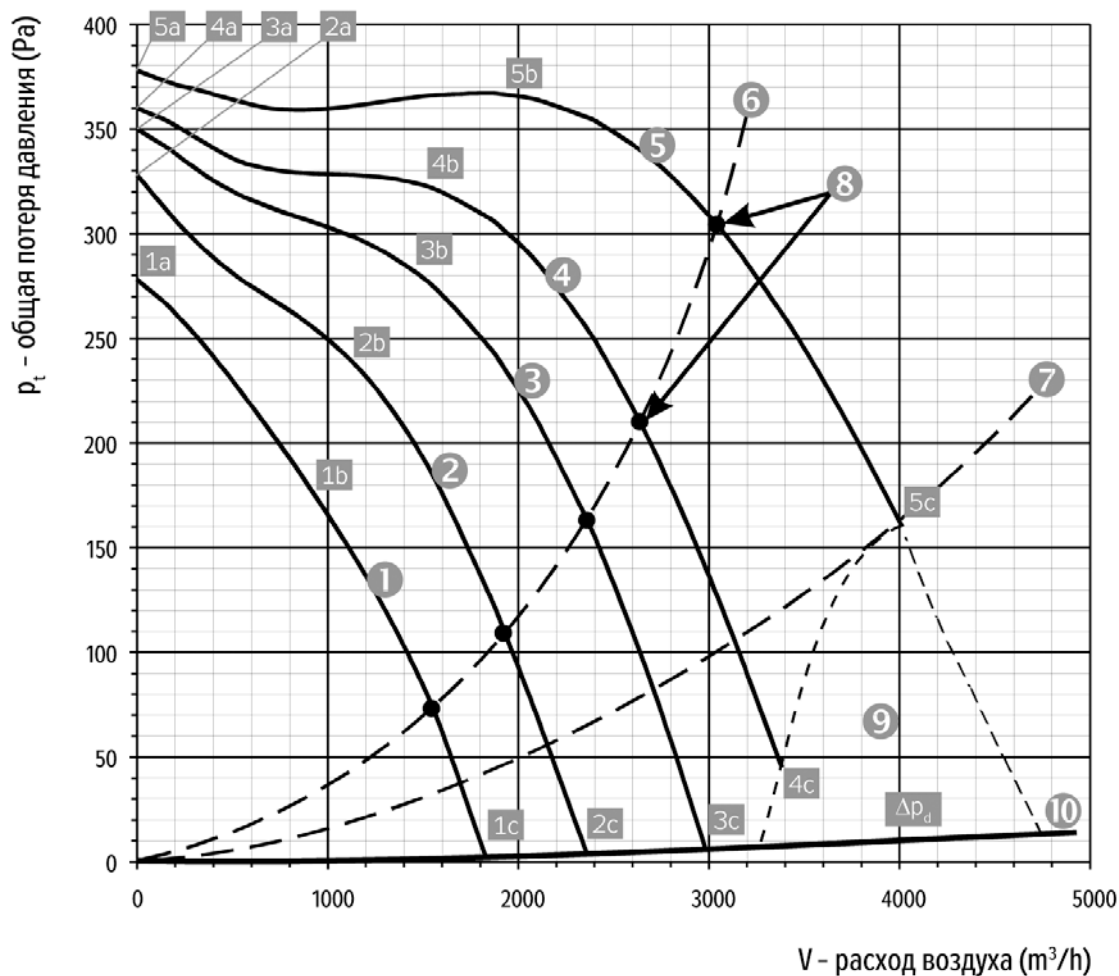


Рис. 3. Напор-расходные характеристики вентилятора и сети воздухопроводов

Каждой ступени мощности отвечает одна из кривых (1) – (5). Если к вентилятору не подключен регулятор мощности, то его эксплуатация возможна только на пятой кривой. Точки с индексом (a) соответствуют нулевому расходу воздуха, т.е. полному дросселированию. При этих режимах двигатель работает почти в холостую. Зоны, где расположены точки с индексом (b) характеризуются максимальным к.п.д., поэтому вентилятор рекомендуется использовать именно в этой области. Рабочие точки с индексом (c) характеризуется максимальной нагрузкой двигателя и максимальным расходом воздуха. Если вентилятор не имеет запрещенной области, то эти точки лежат на



линии динамического давления (10), т.е. статическое давление при этом режиме равно нулю.

Типичная характеристика сети воздухопроводов имеет параболическую форму, на рисунке она представлена кривой (6). Построение напор-расходных характеристик сетей воздухопроводов является отдельной задачей, которая подробно рассмотрена в работе [1].

Некоторые радиальные вентиляторы имеют нерабочую зону (9) показанную штриховой линией. Такой вентилятор не должен эксплуатироваться со свободным всасыванием и нагнетанием он всегда должен быть подключен воздуховодам, у которых самая низкая характеристика сопротивления (7) не проходит в запрещенной области.

Действительная рабочая точка системы вентилятор – сеть (8) находится на пересечении напор-расходной кривой вентилятора и кривой присоединенной сети.

Для определения точки пересечения необходимо аппроксимировать кривые полиномами, для чего удобно использовать инструмент «Линия тренда». На начальном этапе аппроксимации необходимо сформировать таблицы данных для характеристик вентилятора и сети, а затем построить диаграммы. Регрессионный анализ в EXCEL проводится методом наименьших квадратов для пяти моделей: линейной, полиномиальной, логарифмической, степенной и экспоненциальной. Коэффициенты аппроксимирующих функций и их погрешность выводятся на диаграмму. Для добавления линии тренда необходимо активизировать построенную диаграмму, вызвать контекстное меню для ряда данных (щёлкнуть правой кнопкой мыши по выбранной линии) и выбрать команду «Добавить линию тренда».

На экране появится диалоговое окно «Формат линии тренда», которое позволяет:

- выбрать тип линии тренда (при выборе полиномиальной зависимости необходимо задать степень полинома);
- изменить название линии тренда;
- вывести в область диаграммы уравнение линии тренда и достоверности аппроксимации, для чего включить соответствующие флажки;
- задать точку пересечения линии тренда с вертикальной осью.

Для поиска рабочей точки вентилятора может быть использован надстройка EXCEL «Поиск решения», который может быть активирован из вкладки «Разработчик».

Подробные рекомендации и инструкции по работе с линиями тренда и надстройкой «Поиск решения» приведены в методических указаниях [2-3].

Характеристики некоторых вентиляторов «Vento system» приведены в Приложении 1.

## ПОДБОР ПЛАСТИНЧАТОГО РЕКУПЕРАТОРА

Пластинчатые крестообразные рекуператоры предназначены для утилизации теплоты вытяжного воздуха, что позволяет значительно повысить энергетическую эффективность канальных систем

Основной характеристикой рекуператоров является к.п.д. который определяется по результатам натуральных испытаний и вычисляется по формуле:

$$\eta_p = \frac{t_{p2} - t_{p1}}{t_{o1} - t_{p1}},$$

где  $t_{o1}$  – температура вытяжного воздуха на входе в рекуператор,  $t_{p1}$  – температура приточного воздуха на входе в рекуператор,  $t_{p2}$  – температура приточного воздуха на выходе из рекуператора.

Зная к.п.д. рекуператора можно определить температуру воздуха на выходе из рекуператора

$$t_{p2} = \eta_p(t_{o1} - t_{p1}) + t_{p1} \quad (1)$$

Рабочие характеристики пластинчатых рекуператоров серии HRV «Vento system» различных типоразмеров приведены на рисунке 4.

Кривая (1) – зависимость мокрого к.п.д. от расхода воздуха через рекуператор. Кривая (2) – зависимость сухого к.п.д. от расхода воздуха. Кривая (3) – потеря давления от расхода воздуха.

Так как к.п.д. рекуператора существенно зависит от относительной влажности вытяжного воздуха, на каждом графике указаны кривые для сухого (минимального) и мокрого (максимального) к.п.д. За относительную влажность для сухого к.п.д. выбирается такая величина, при которой проявилось заметное изменение к.п.д. при изменении влажности вытяжного воздуха. Величина мокрого к.п.д. была установлена при 100 % относительной влажности воздуха.

Порядок подбора рекуператора:

– Для вычисленного расхода воздуха по графикам рис. 4 определяется сухой и мокрый к.п.д. рекуператора. Если предполагаемая относительная влажность вытяжного воздуха лежит в диапазоне между сухим и мокрым к.п.д., то по графику определяется пропорциональная величина к.п.д. в диапазоне между обеими кривыми.

– В уравнение (1) подставляется определенная величина к.п.д. рекуператора и предполагаемая расчетная температура воздуха, т.е. температура приточного воздуха на входе в рекуператор и температура воздуха, удаляемого из помещения.

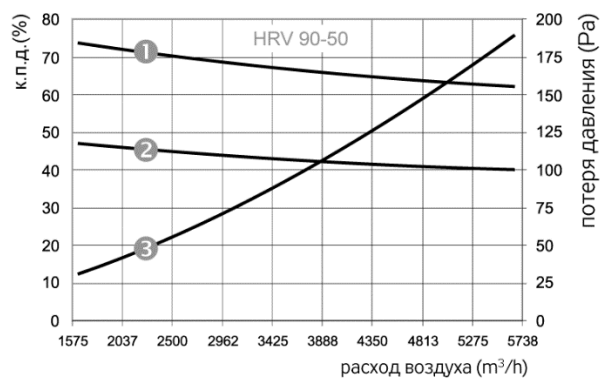
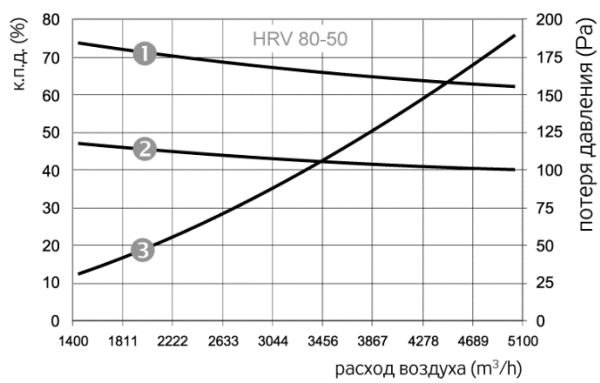
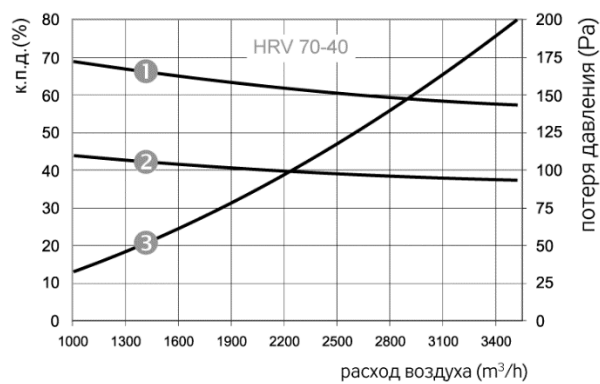
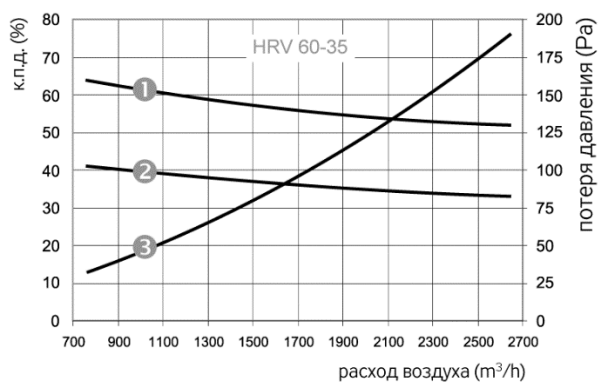
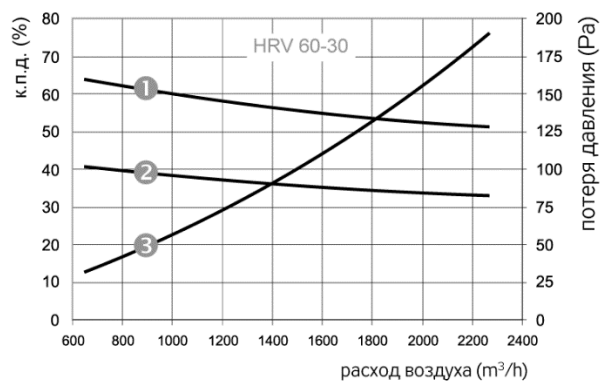
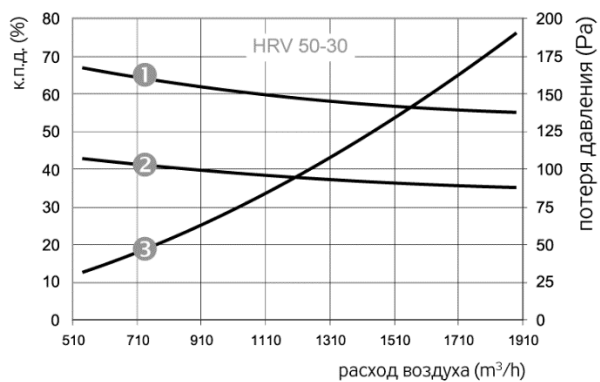
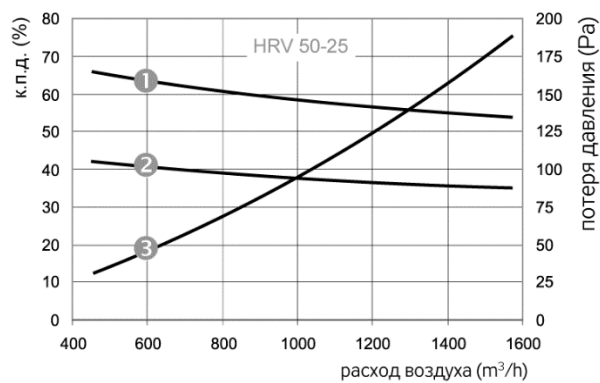
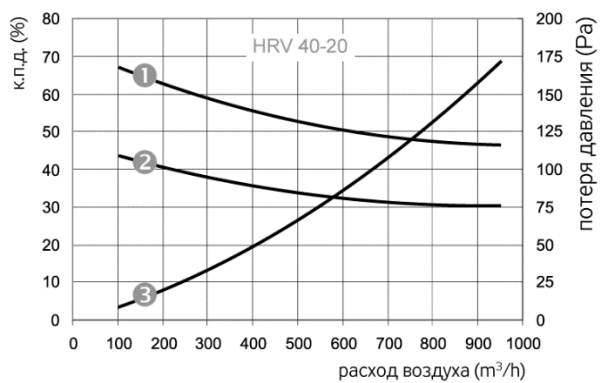


Рис. 4. Характеристики пластинчатых рекуператоров серии HRV «Vento system»

## ПОДБОР ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОБОГРЕВАТЕЛЯ

Электрические обогреватели предназначены для обогрева приточного воздуха в канальных воздуховодах прямоугольного сечения.

Обогреватели поставляются девяти типоразмеров в зависимости от размеров соединительного фланца. Существуют три типа управления – EO, EOS, EOSX. Для каждого типоразмера существует несколько вариантов мощности которые показаны в таблице 2. В зависимости от мощности изготавливается девять вариантов с нарастающей максимальной мощностью от 3,0 до 45,0 kW.

Таблица 2. Варианты мощности электрических обогревателей

Тип	Типоразмер	Мощность, kW								
		3,0	4,5	6,0	7,5	12,0	15,0	22,5	30,0	45,0
EO	30-15									
	40-20									
	50-25									
	50-30									
	60-30									
	60-35									
	70-40									
	80-50									
	90-50									
EOS	30-15									
	40-20									
	50-25									
	50-30									
	60-30									
	60-35									
	70-40									
	80-50									
	90-50									
EOSX	30-15									
	40-20									
	50-25									
	50-30									
	60-30									
	60-35									
	70-40									
	80-50									
	90-50									

Для определения температуры подогрева воздуха предназначена номограмма, показанная на рисунке 5.

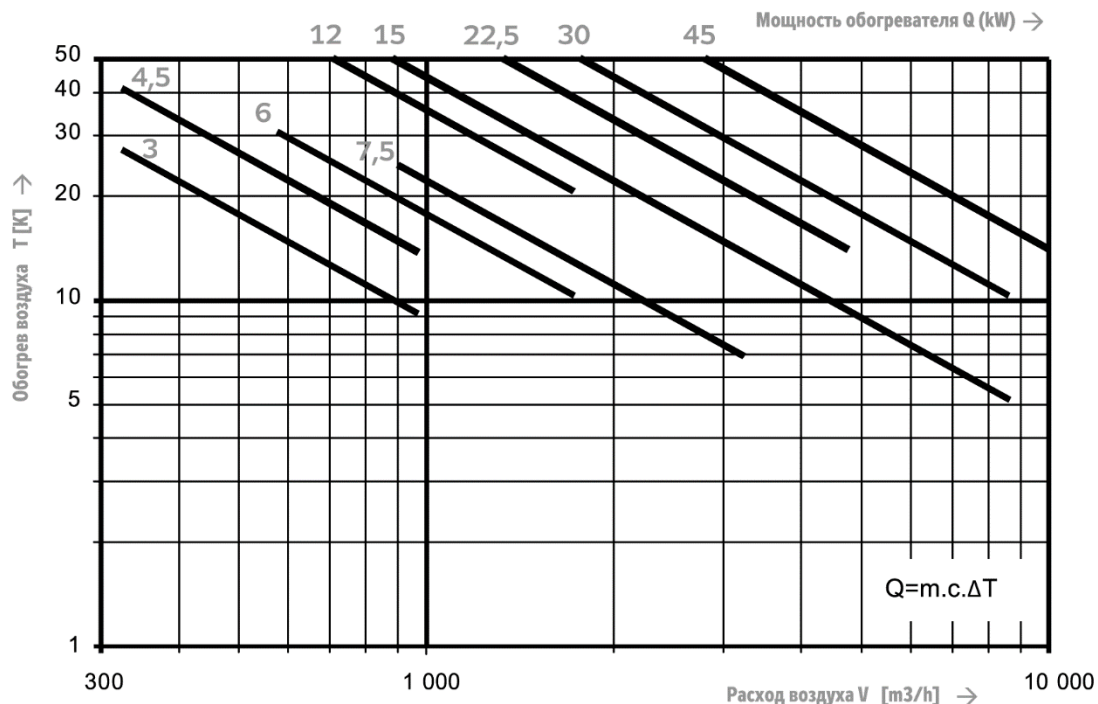


Рис. 5. Номограмма температуры подогрева воздуха

Номограмма, приведенная на рисунке 6 позволяет определить потери давления в обогревателе для всех типов регулирования и всех присоединительных размеров.

В качестве примера на номограмме приведена последовательность действий для определения потерь давления при расходе воздуха 4500 м<sup>3</sup>/час в обогревателе типоразмера 70x40 и электрической мощности 30 kW.

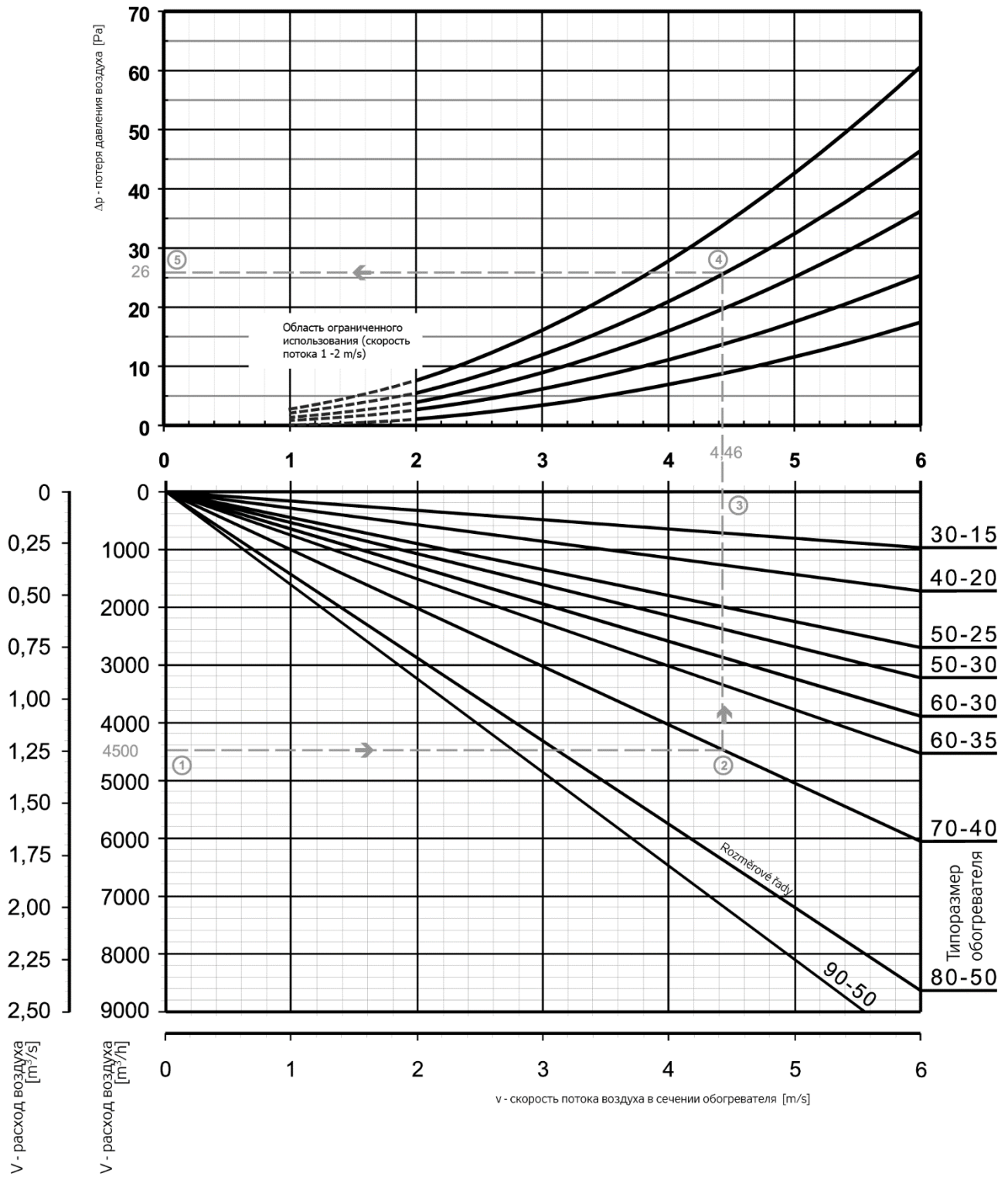


Рис. 6. Потери давления в обогревателе

## ПОДБОР ВОЗДУШНОГО ФИЛЬТРА

Создание необходимой чистоты воздуха в помещении обеспечивается фильтрами различных типов. Все воздушные фильтры для систем вентиляции и кондиционирования воздуха разделяются на две категории: воздушные фильтры общего назначения и высокоэффективные фильтры специального назначения. Первые подразделяются на 9 классов чистоты от G1 до F9, в соответствии с ГОСТ Р EN 779-2014 [16] (аналог Евростандарта EN 779). Вторые классифицируются от класса H10 до U17 по ГОСТ Р EN 1822-1-2010 [17] (аналог Евростандарта EN1822).

Таблица 3. Классификация воздушных фильтров общего назначения для систем вентиляции и кондиционирования

Группа	Класс	Конечный перепад давления при испытаниях, Па	Средняя пылезадерживающая способность $A_m$ по синтетической пыли, %	Средняя эффективность $E_m$ для частиц с размером 0,4 мкм, %	Минимальная эффективность для частиц с размером 0,4 мкм, %
Фильтры грубой очистки	G1	250	$50 \leq A_m < 65$	-	-
	G2	250	$65 \leq A_m < 80$	-	-
	G3	250	$80 \leq A_m < 90$	-	-
	G4	250	$90 \leq A_m$	-	-
Фильтры средней очистки	M5	450	-	$40 \leq E_m < 60$	-
	M6	450	-	$60 \leq E_m < 80$	-
-	F7	450	-	$80 \leq E_m < 90$	35
	F8	450	-	$90 \leq E_m < 95$	55
	F9	450	-	$95 \leq E_m$	70

В канальных системах используется, как правило, одноступенчатая фильтрация грубой, средней и тонкой очистки

Необходимо отметить, что в процессе эксплуатации фильтры

загрязняются, что приводит к повышению перепада давления на фильтре при номинальном расходе воздуха. Рекомендуется проводить замену или очистку фильтров при повышении давления для фильтров грубой и средней очистки на 250 Pa, а для фильтров тонкой очистки на 400 Pa.

Номограммы для определения перепада давления на незагрязненных карманных фильтрах всех типоразмеров приведены на рисунках 7-9.

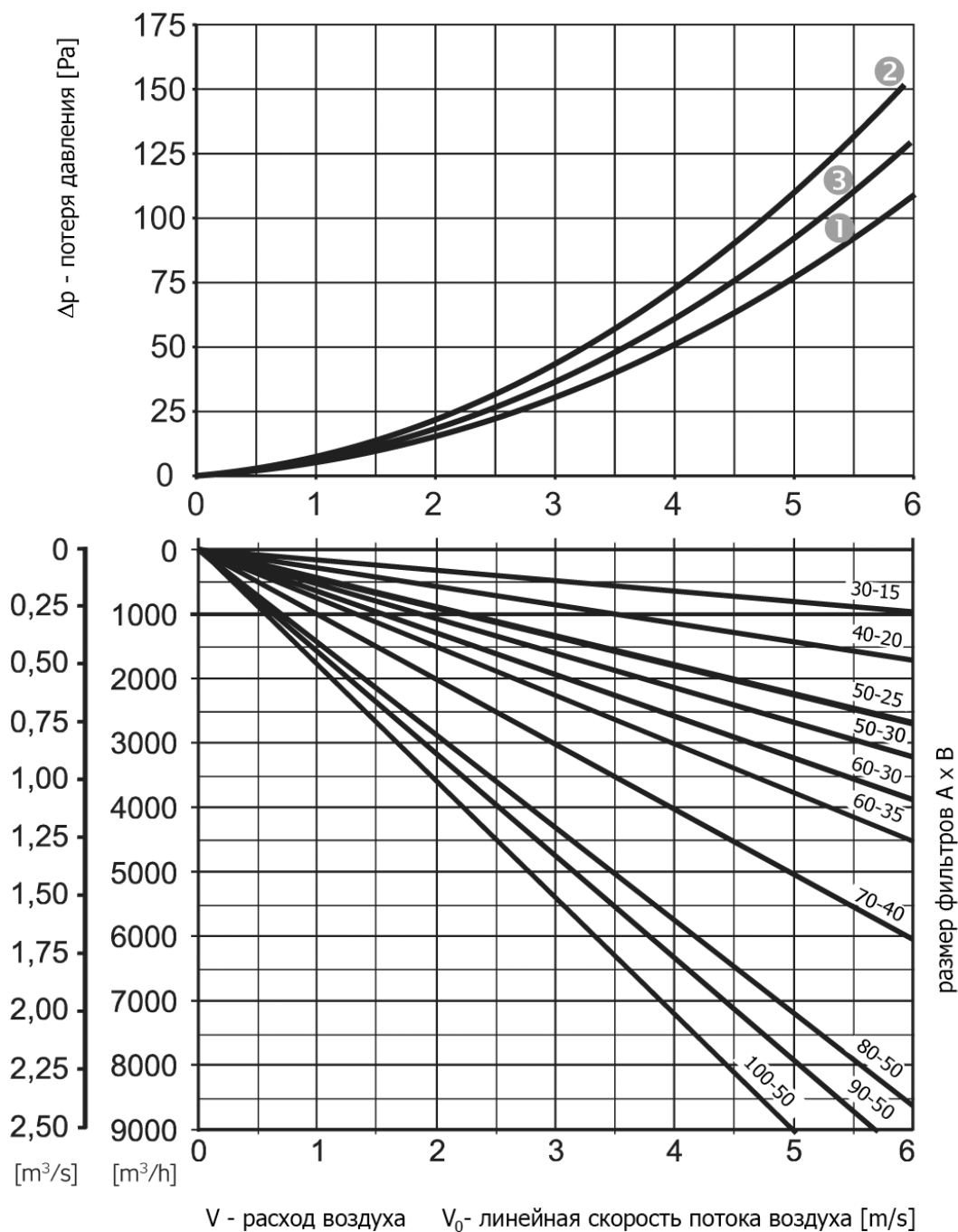


Рис. 7. KF3 – карманный фильтр класса G3



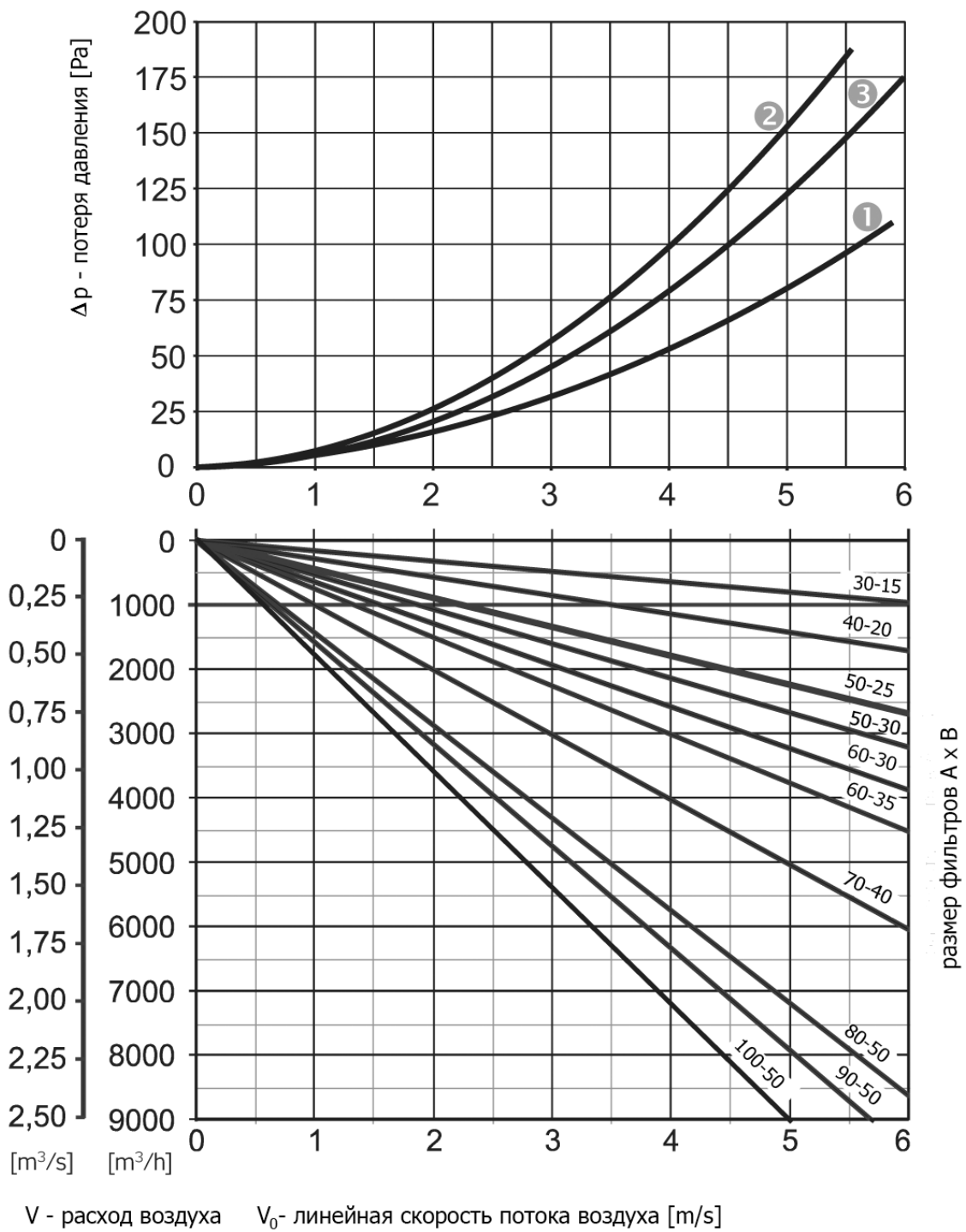


Рис. 8. KF5 – карманный фильтр класса F5

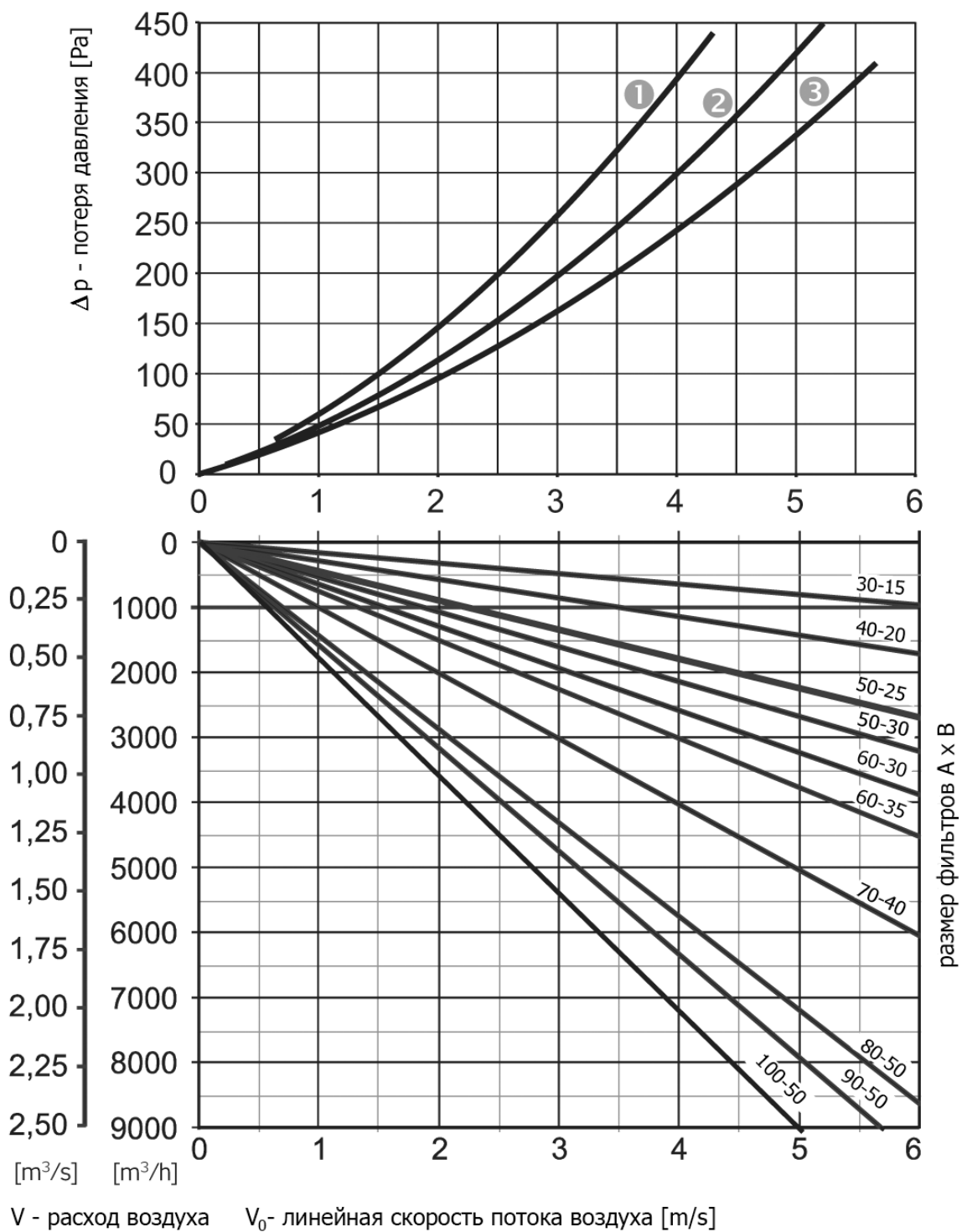


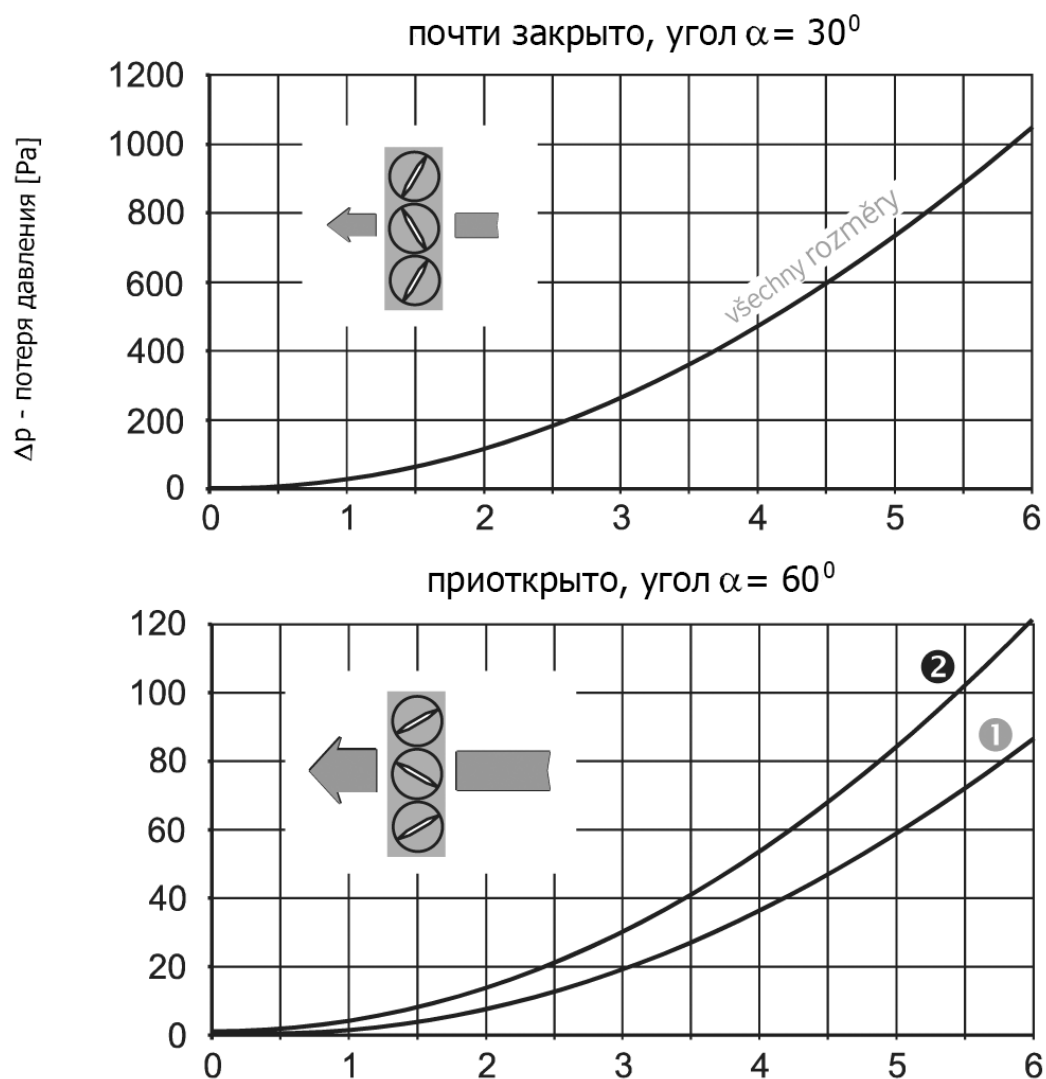
Рис. 9. KF7– карманный фильтр класса F7

## ПОДБОР ЗАСЛОНОК

Регулирующие и осекающие заслонки устанавливаются в прямоугольном воздуховоде и предназначены для регулирования системы вентиляции или перекрытия отдельных ветвей воздуховодов.

На рисунке 10 приведены номограммы для определения потери давления в заслонках с сервоприводом и ручным управлением.

Кривая (2) на графиках для типоразмеров 50x25 и 60x35, для остальных типоразмеров кривая (1).



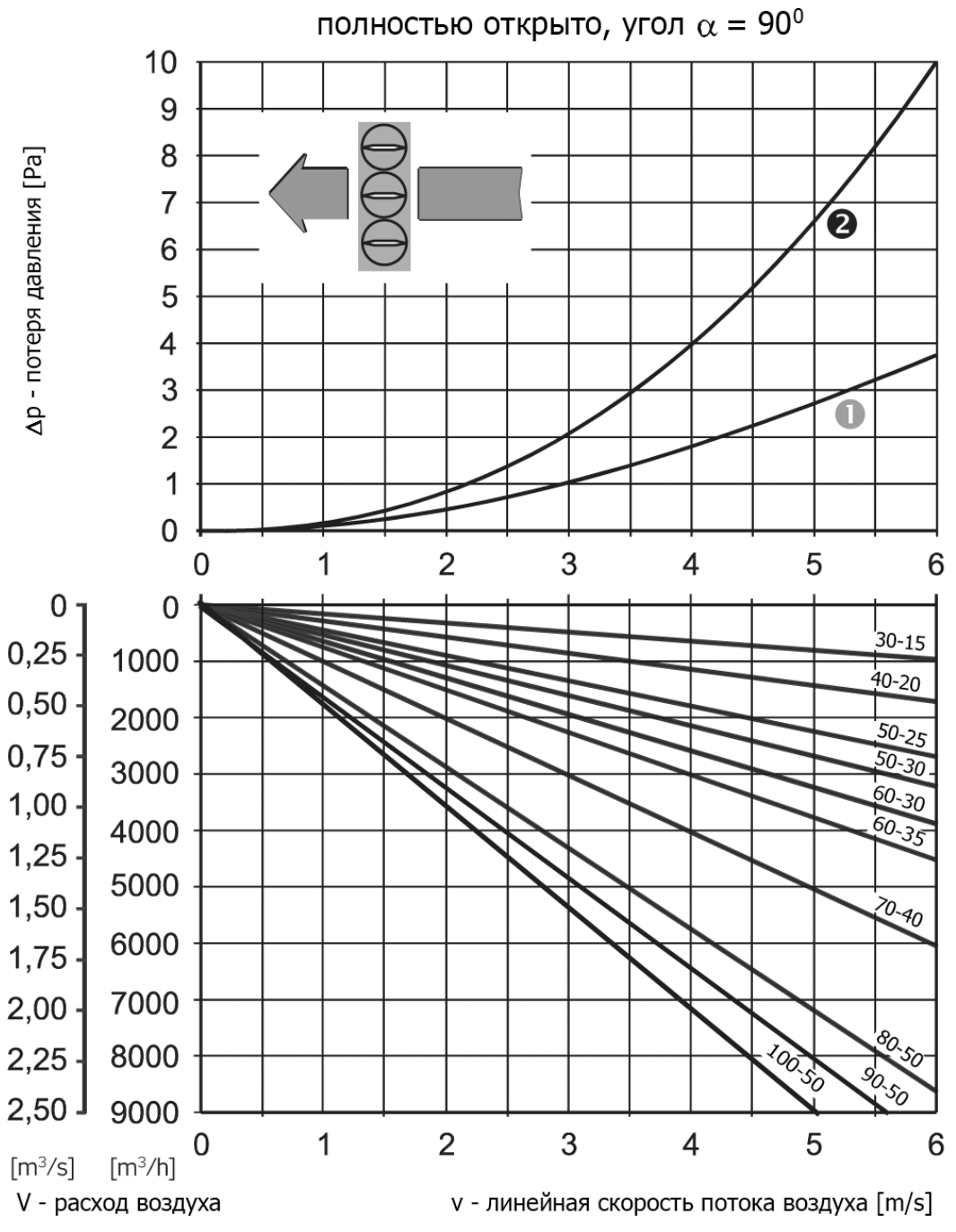


Рис. 10. Потери давления в заслонках

## ПОДБОР ВОДЯНОГО ОБОГРЕВАТЕЛЯ

Альтернативным вариантом электрическому обогревателю, показанному на рисунке 1, может быть водяной обогреватель. Такие обогреватели изготавливаются в десяти типоразмерах в зависимости от размеров присоединительного фланца. Стандартная размерная серия позволяет подобрать обогреватели для всех расходов воздуха, которые обеспечивают каналные вентиляторы. Использование воды в качестве теплоносителя возможно только при установке внутри помещения, где температура воздуха выше точки замерзания воды. Для наружного применения необходимо в качестве теплоносителя использовать незамерзающие жидкости, например, раствор этиленгликоля. Для достижения максимальной эффективности водяного обогревателя необходимо перед ним устанавливать воздушный фильтр и обеспечить противоточную схему движения воздуха и теплоносителя.

В Приложении 2 приведен комплект номограмм для расчета термодинамических параметров водяного обогревателя.

Исходные данные для работы с номограммами:

1. расход воздуха через обогреватель,
2. типоразмер обогревателя,
3. температура воздуха на входе в обогреватель,
4. температурный перепад отопительной воды.

Получаемые результаты:

1. температура воздуха на выходе из обогревателя,
2. мощность обогревателя,
3. необходимый расход теплоносителя,
4. падение давления теплоносителя.

Потери давления в водяных обогревателях всех типоразмеров определяются по номограмме приведенной на рисунке 11.

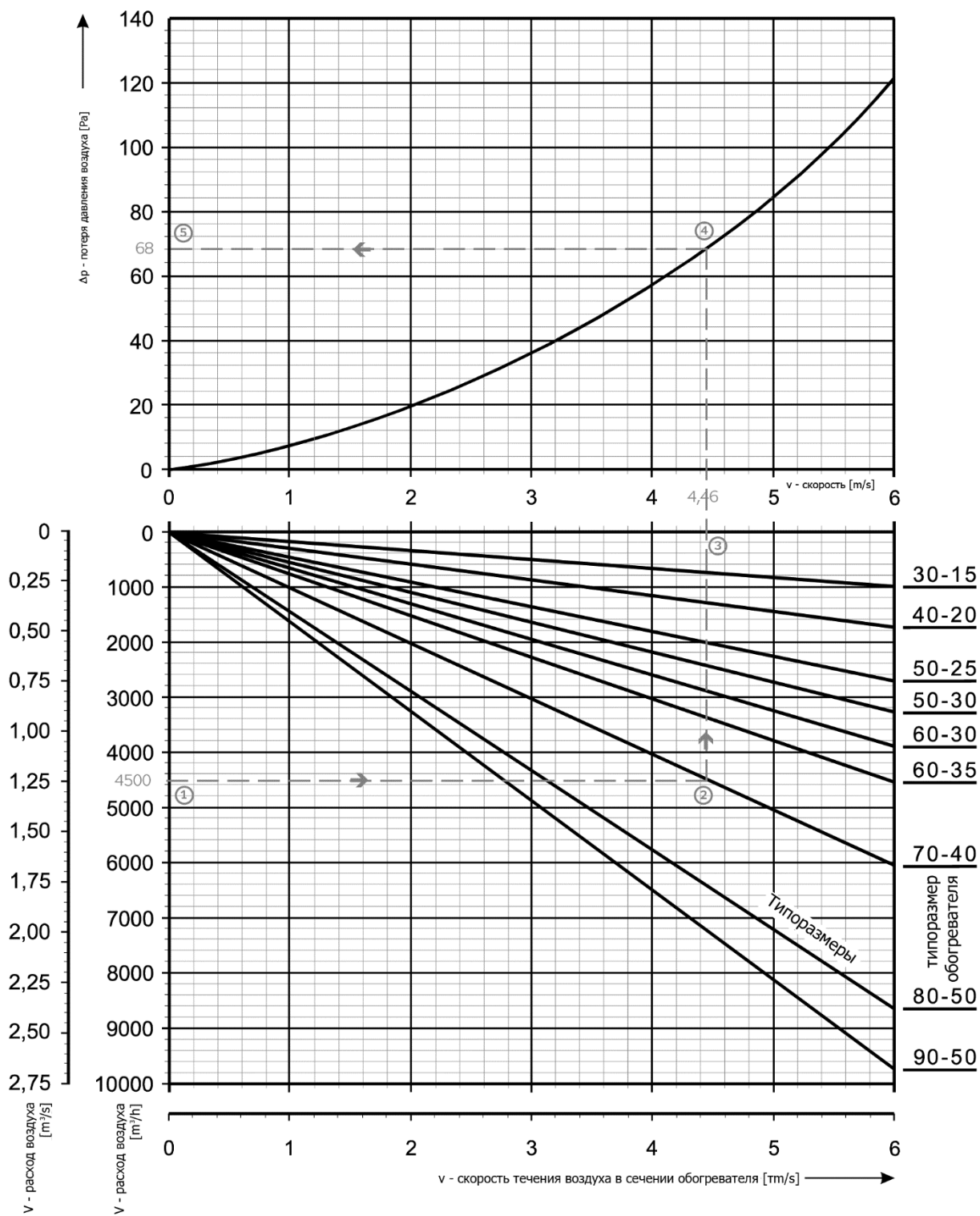


Рис. 11. Потери давления в водяных обогревателях

## РАСЧЕТ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В КАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЕ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ

При движении воздуха по приточному и вытяжному воздуховодам происходит изменение его температуры. Температура приточного воздуха на входе в помещение вычисляется по формуле:

$$t_p = \eta_p(t_{o1} - t_{p1}) + t_{p1} + \Delta t_{p3},$$

где  $t_p$  – температура приточного воздуха на входе в помещение,  $\Delta t_{p3}$  – изменение температуры в электрическом или водяном подогревателе.

Так как в рассматриваемой канальной системе отсутствуют аппараты осушения и увлажнения влагосодержание наружного и приточного воздуха не изменяется.

Относительная влажность вычисляется по формуле [4]

$$\varphi = \frac{P_{\text{п}}}{P_{\text{н}}},$$

где  $\varphi$  – относительная влажность,  $P_{\text{п}}$  – парциальное давление водяного пара,  $P_{\text{н}}$  – давление насыщенного водяного пара.

Парциальное давление вычисляется по формуле [4]

$$P_{\text{п}} = p \frac{d}{0,622+d},$$

где  $p = 101,325$  Па – атмосферное давление,  $d$  – влагосодержание наружного воздуха.

Давление насыщенного пара при температуре  $t_p$  вычисляется по формуле [4]

$$P_{\text{н}} = 0,6112 \exp\left(\frac{17,504 t_p}{242,2 + t_p}\right)$$

Как отмечалось выше для определения рабочей точки на характеристиках вентилятора и сети воздуховодов необходимо найти точку их пересечения или, что то же самое найти решение системы из двух уравнений.

В общем случае напор-расходная характеристика любого вентилятора может быть описана полиномом вида:

$$\Delta P_t = \sum_{i=0}^n a_i V^i \quad (2)$$

где  $\Delta P_t$  – общее давление,  $V$  – расход воздуха,  $a_i$  – коэффициенты полинома аппроксимирующего характеристику вентилятора,  $n$  – степень полинома.

Коэффициенты этого полинома определяются с помощью инструмента «линия тренда», описанного выше.

Характеристика сети включает потери давления в воздуховодах и воздухораспределительных устройствах, а также потери в блоках канальной установки.

Для приточного канала:

$$\Delta P_t = \sum_{i=0}^k b_i V^i + \Delta P_з + \Delta P_ф + \Delta P_н + \Delta P_p \quad (3)$$

где  $\sum_{i=0}^k b_i V^i$  – полином аппроксимирующий потери давления в приточном воздуховоде,  $\Delta P_з$  – потери давления в заслонке,  $\Delta P_ф$  – потери давления в фильтре,  $\Delta P_н$  – потери давления в нагревателе,  $\Delta P_p$  – потери давления в рекуператоре.

Предполагается, что коэффициенты полинома известны (заданы преподавателем), а остальные слагаемые входящие в (3) определяются по результатам обработки номограмм приведенных методических указаниях.

Решение системы уравнений (2) и (3) выполняется при помощи надстройки «Поиск решения», описанной выше.

Для вытяжного канала расчет рабочей точки выполняется аналогично.



## ОФОРМЛЕНИЕ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Практическая работа оформляется в виде пояснительной записки и книги Excel.

Пояснительная записка должна содержать следующие элементы:

1. Титульный лист.
2. Текст пояснительной записки:
  - цель работы,
  - исходные данные для проектирования,
  - описание последовательности работы в среде Excel в соответствии основными положениями, представленными в настоящем учебном пособии.
3. Графические материалы:
  - диаграммы и номограммы необходимые для расчета канальной системы кондиционирования
  - screen листов книги Excel.

**Примечание:** при оформлении графического материала в пояснительной записке рисунки пронумеровываются с присвоением соответствующих подрисуночных названий.

4. Заключение. По результатам практической работы резюмируются полученные в процессе выполнения задания навыки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современные тенденции разработки систем кондиционирования и вентиляции направлены на создание энергоэффективных решений, позволяющих модернизировать или проектировать новые инженерные системы зданий сооружений и автономных объектов, которые используют последние достижения климатической техники. Решение таких задач предполагает наличие расчетных моделей, которые позволяют оперативно решать прямые и обратные задачи возникающие в практике проектирования.

Под прямой задачей понимается принятие технического решения, обеспечивающего поддержание заданных параметров внутреннего воздуха при заданных тепловлажностных нагрузках. Варьируемым параметром в такой задаче является напор вентиляторов при выполнении ограничений, связанных с расходом, температурой и влажностью приточного воздуха. В обратной задаче

структура канальной системы известна, варьируем параметром является расход воздуха, который обеспечивает работу вентилятора в рабочей точке напорной характеристики.

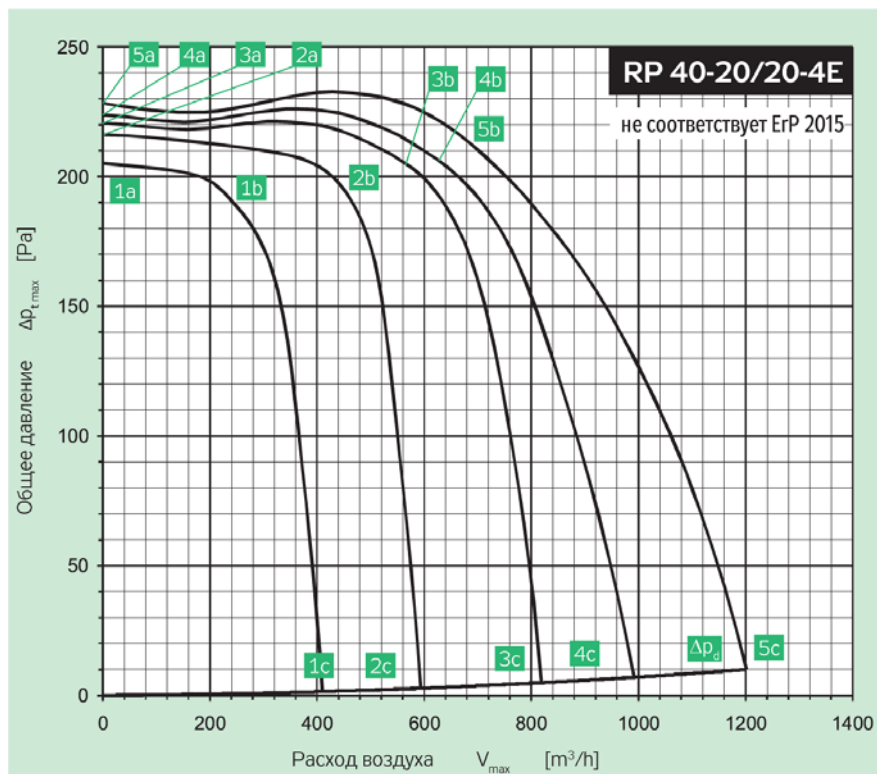
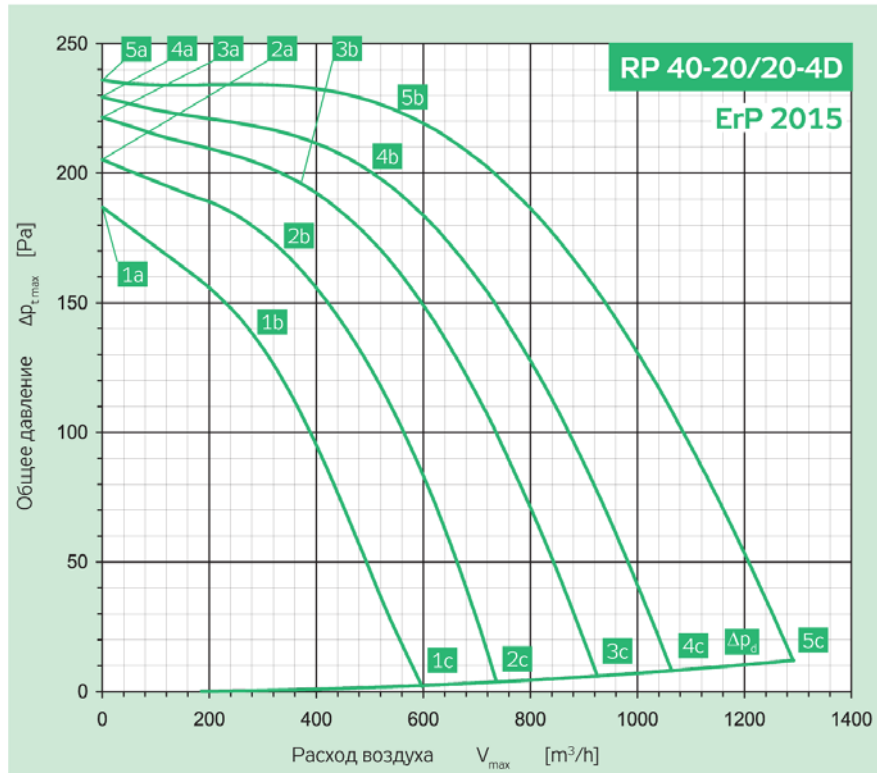
Данное пособие позволяет студентам получить навыки решения задач обоего типа используя в среде Excel инструменты регрессионного анализа и решения систем нелинейных уравнений.

Авторы пособия выражают глубокую благодарность сотрудникам ООО «СП Ремак» за предоставленную техническую документацию, послужившей основой для данного учебного пособия.

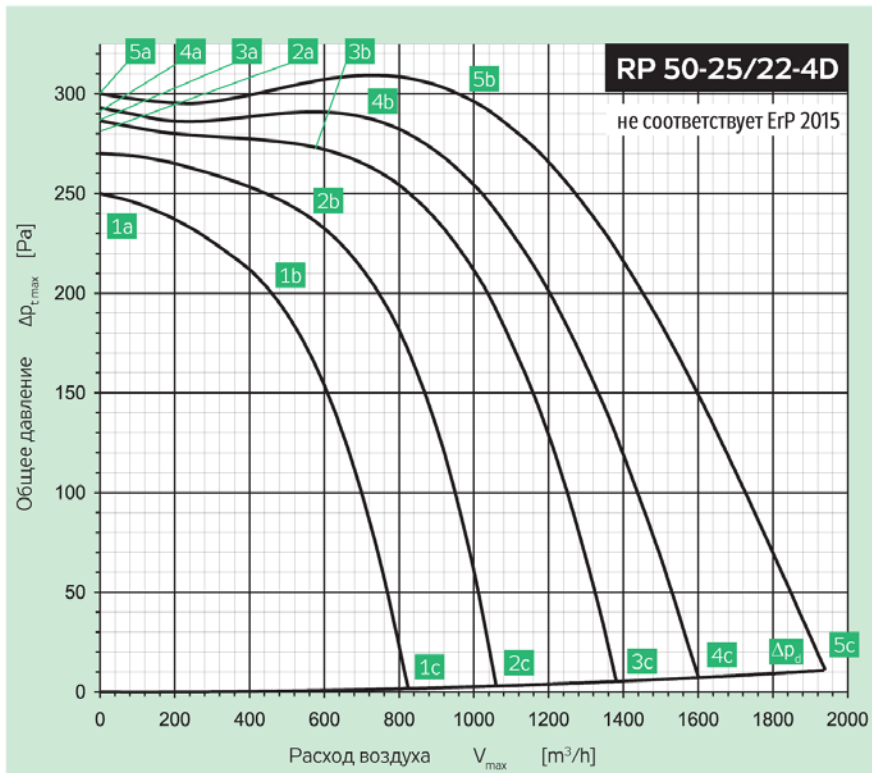
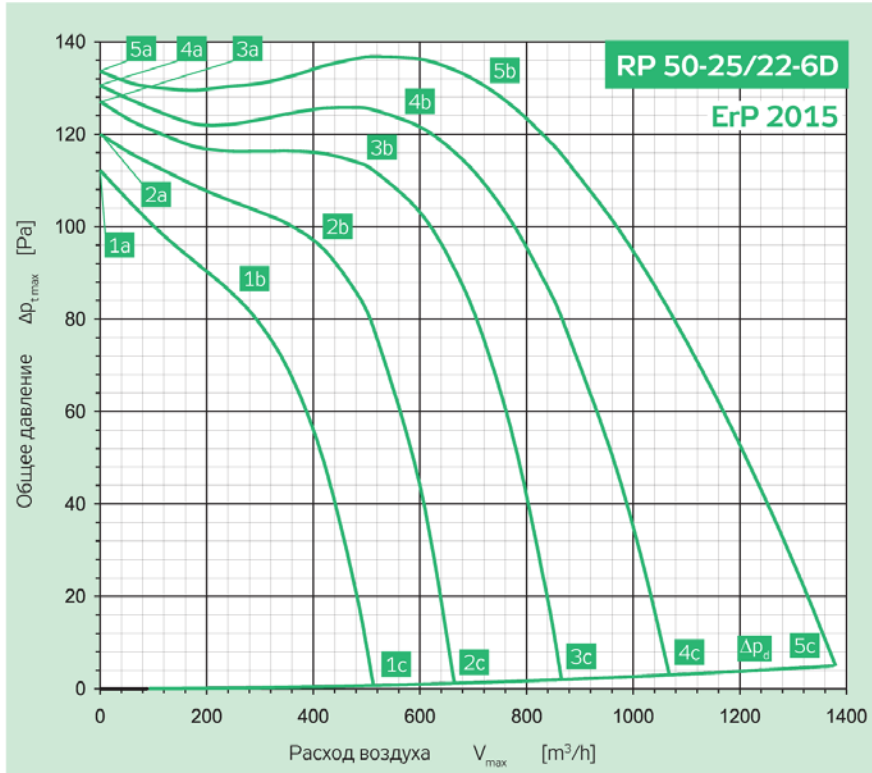
## ЛИТЕРАТУРА

1. **Гримитлин М.И.** Распределение воздуха в помещениях. СПб.: АВОК Северо-Запад, 2004. – 319 с.
2. **Малышева Т.А.** Численные методы и компьютерное моделирование. Лабораторный практикум по аппроксимации функций: Учеб.-метод. пособие. СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 33 с.
3. **Малышева Т.А.** Численные методы и компьютерное моделирование. Лабораторный практикум для нелинейных уравнений и их систем: Учеб.-метод. пособие. СПб.: Университет ИТМО, ИХиБТ, 2015. – 37 с.
4. **Бурцев С.И., Цветков Ю.Н.** Влажный воздух состав и свойства. СПб.: ГАХПТ, 1998. – 145 с.

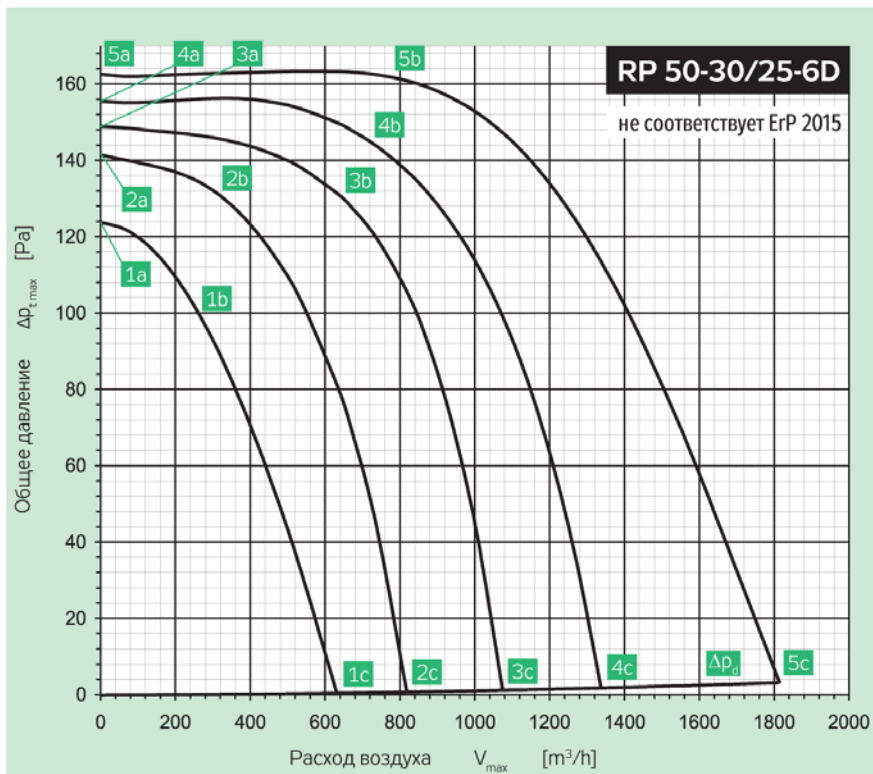
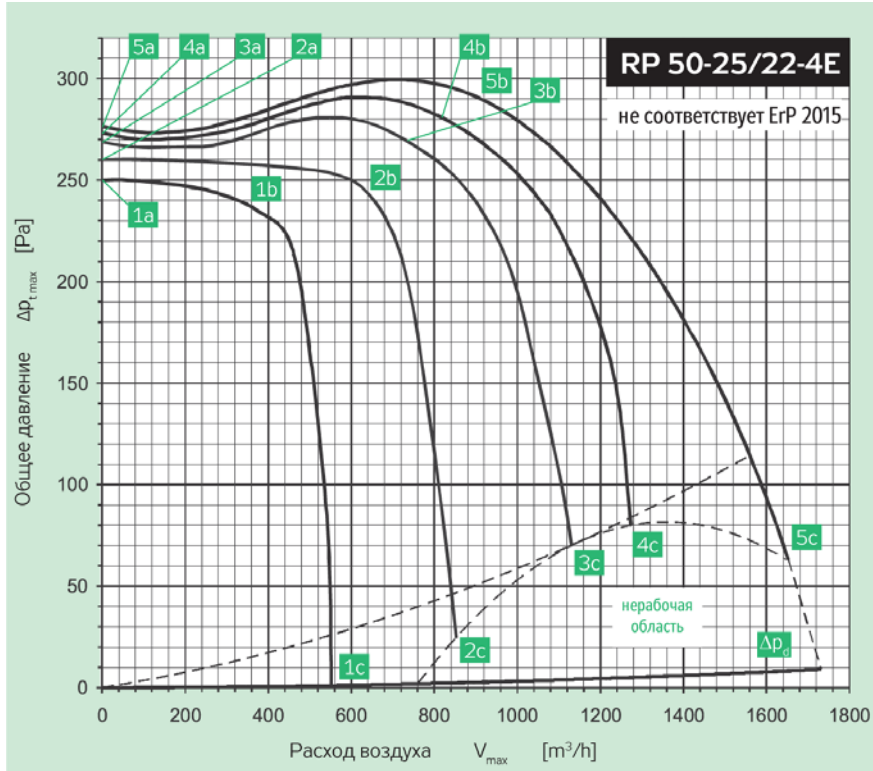
# ВЕНТИЛЯТОРЫ RP



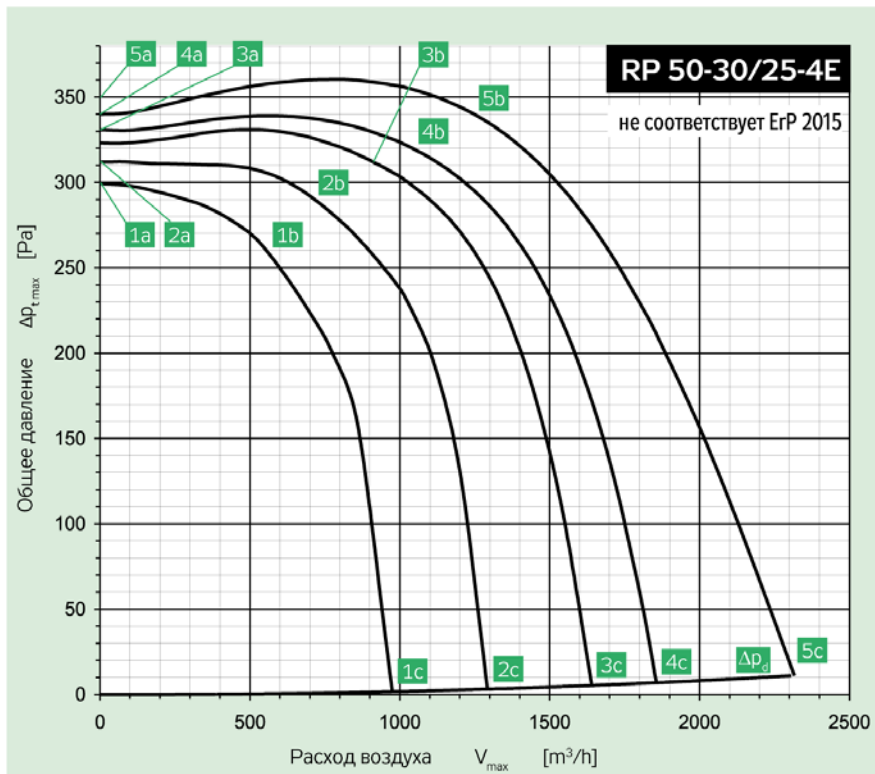
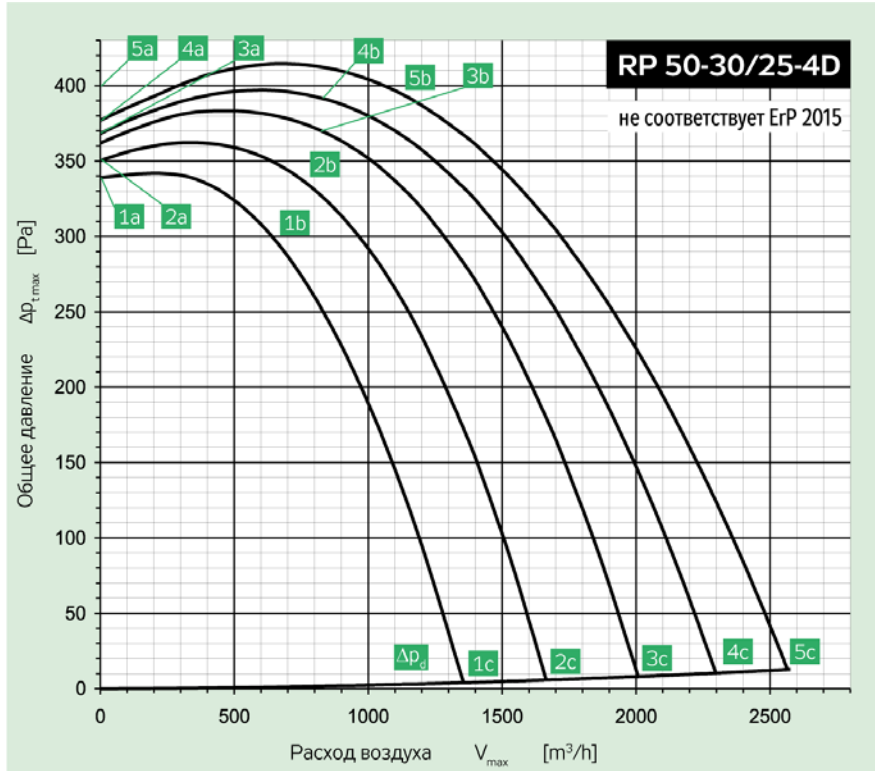
# ВЕНТИЛЯТОРЫ RP



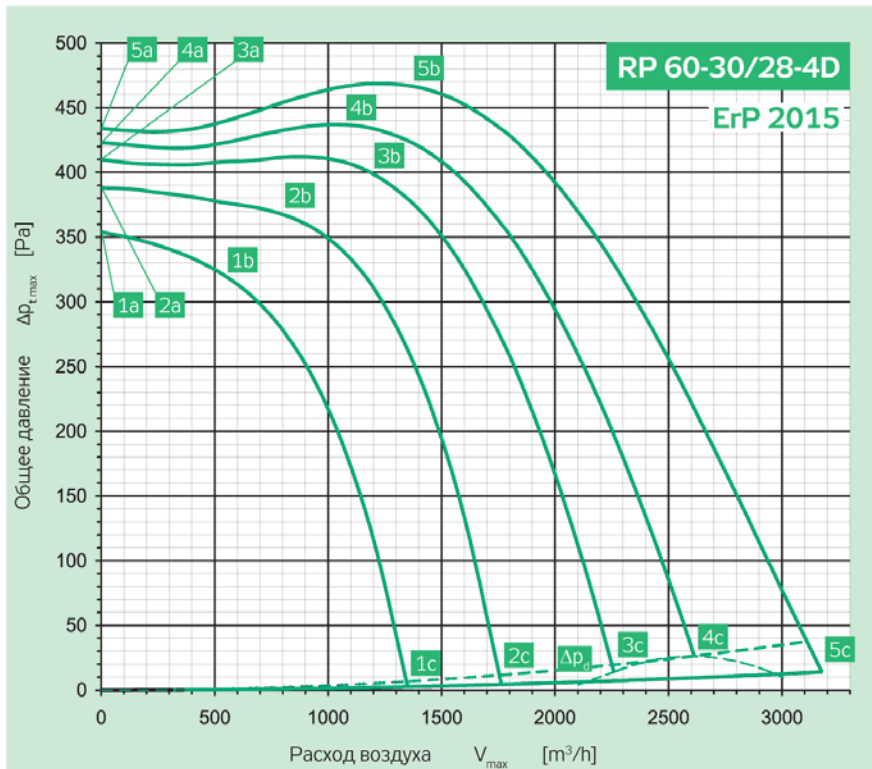
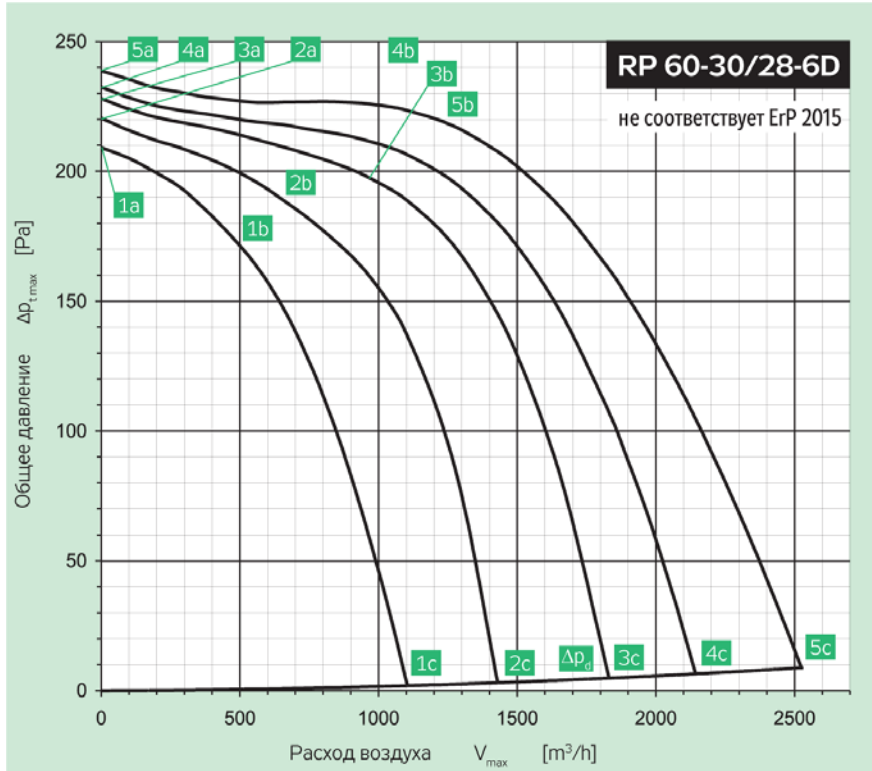
# ВЕНТИЛЯТОРЫ RP



# ВЕНТИЛЯТОРЫ RP

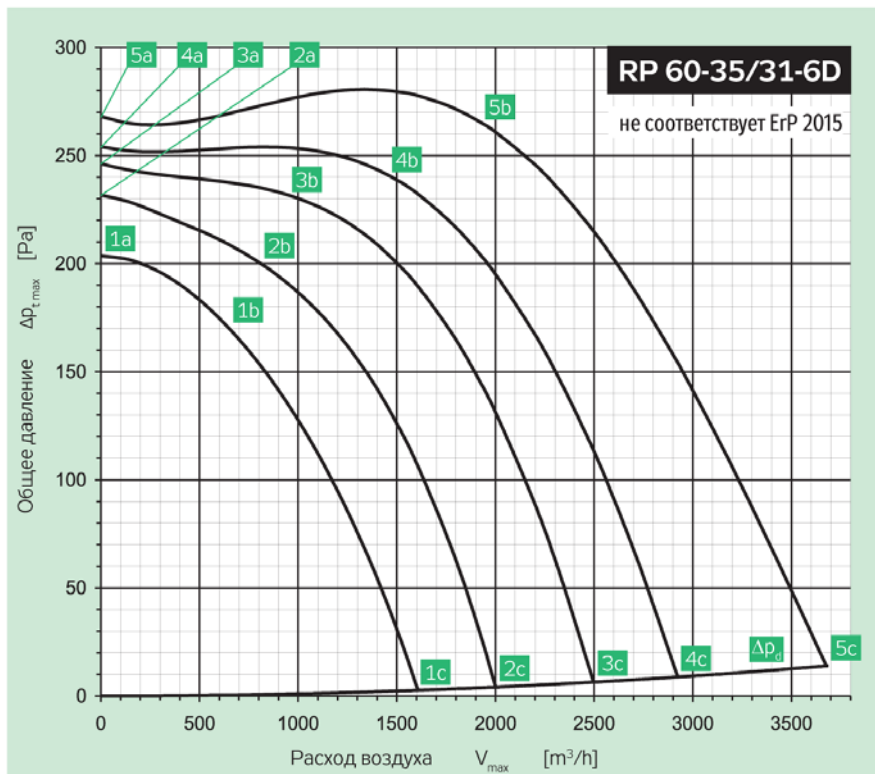
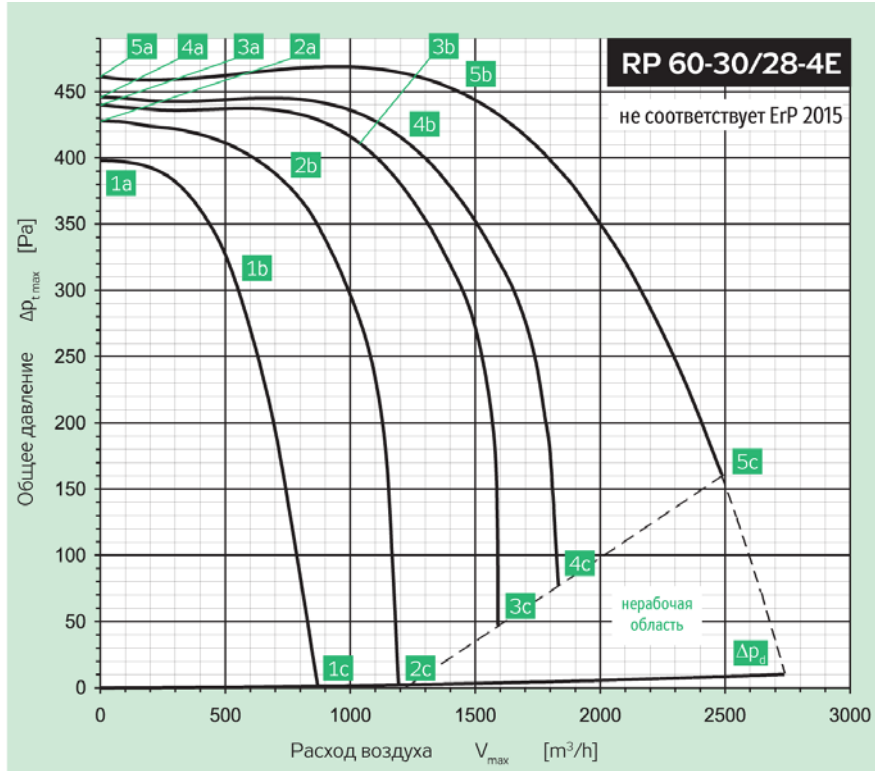


# ВЕНТИЛЯТОРЫ RP

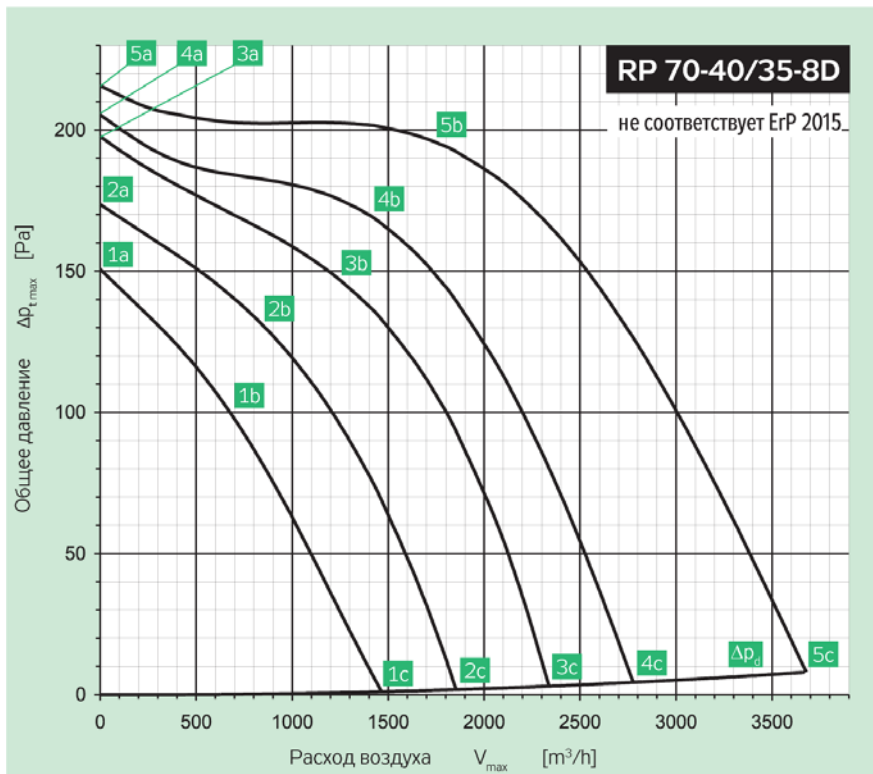
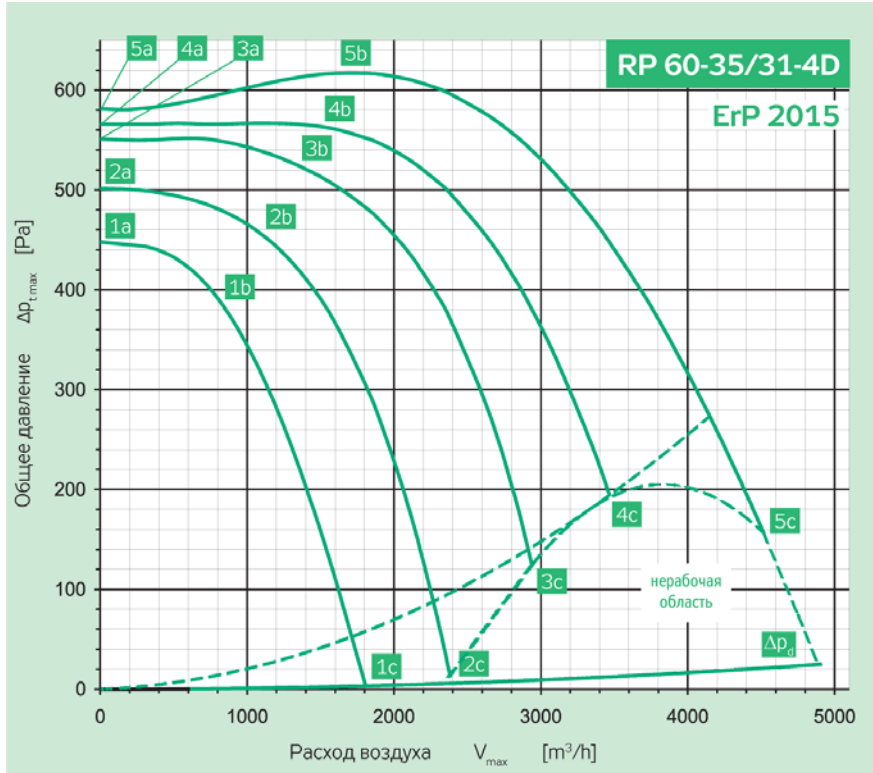




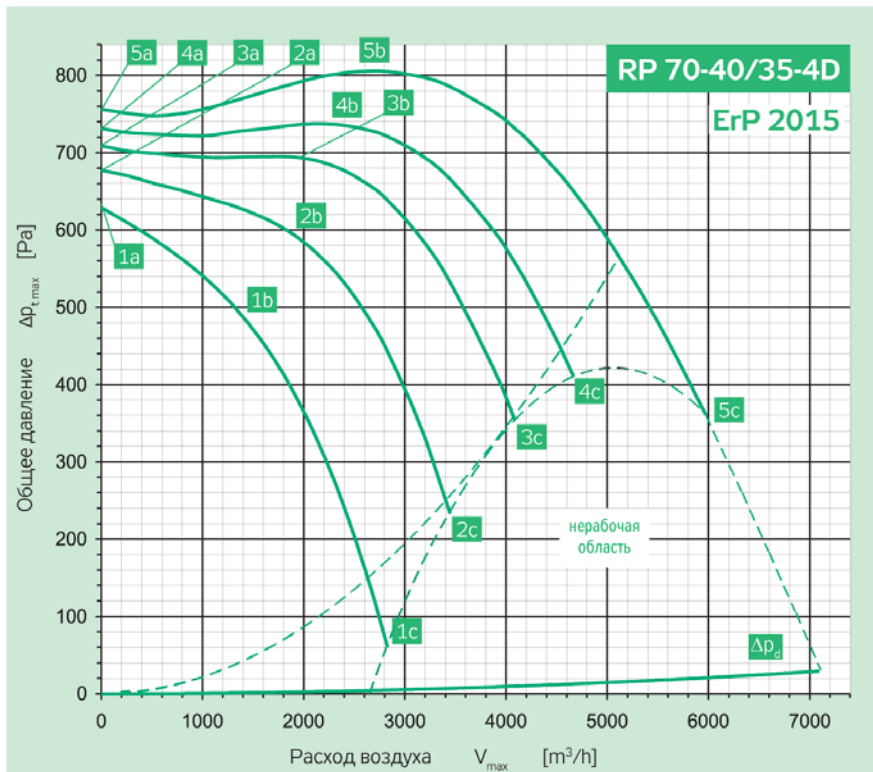
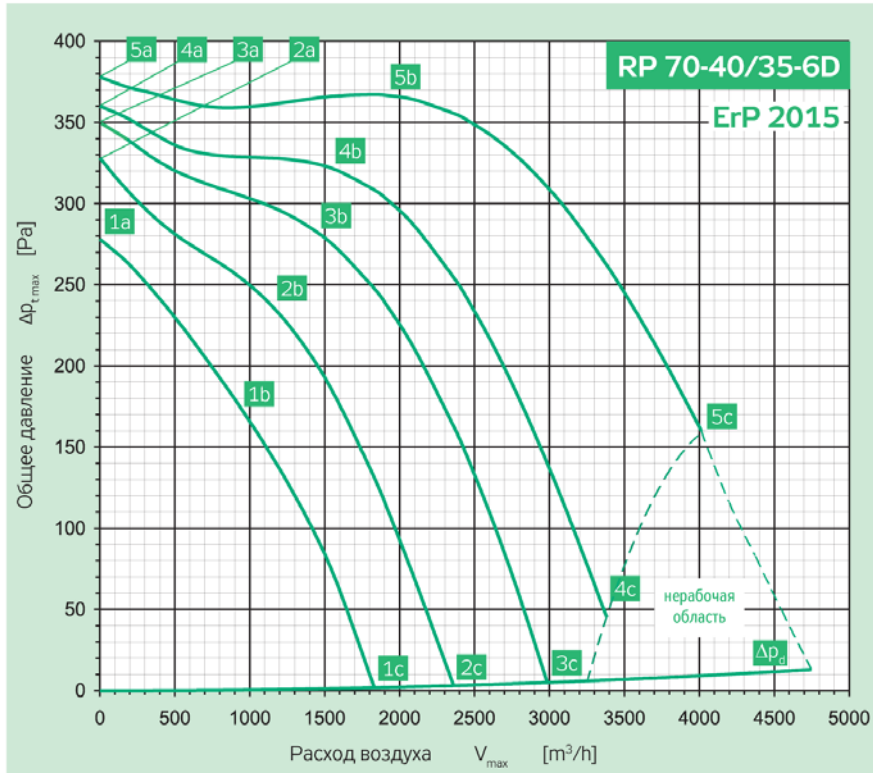
# ВЕНТИЛЯТОРЫ RP



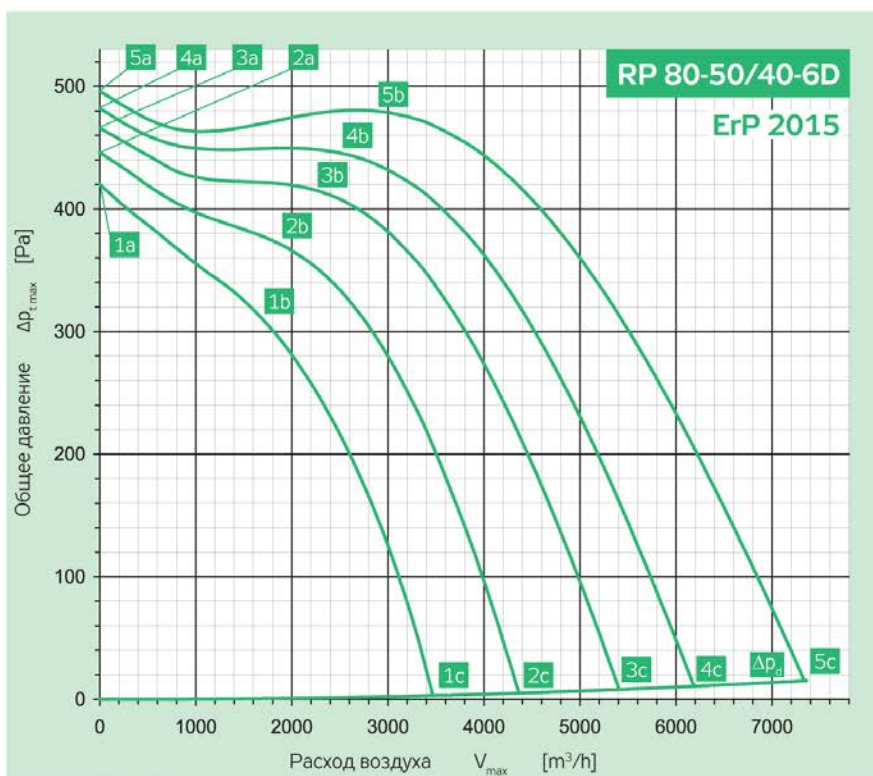
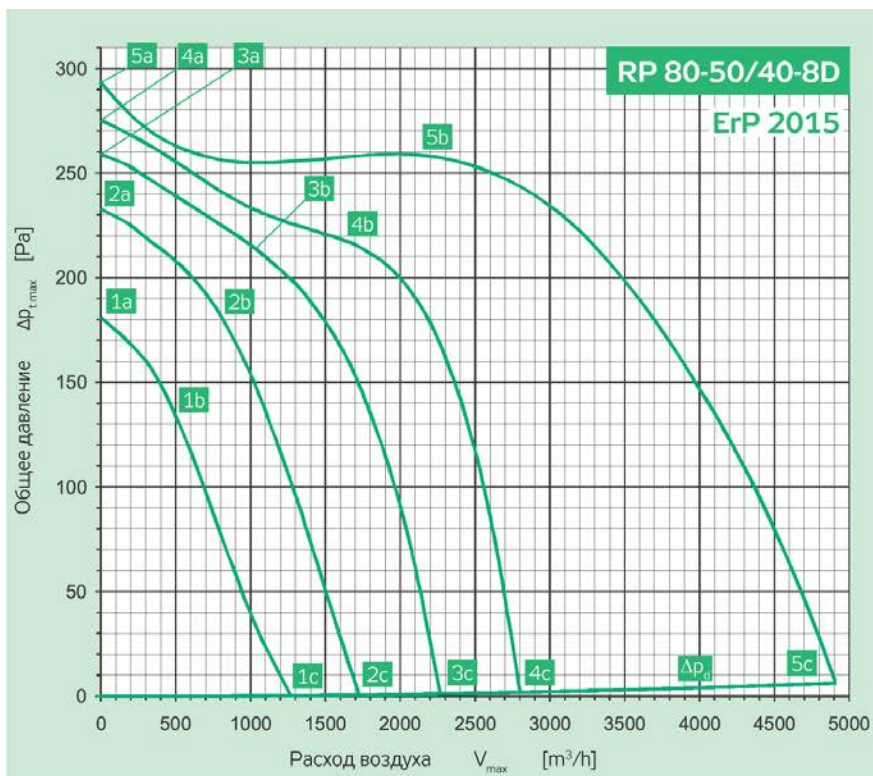
# ВЕНТИЛЯТОРЫ RP



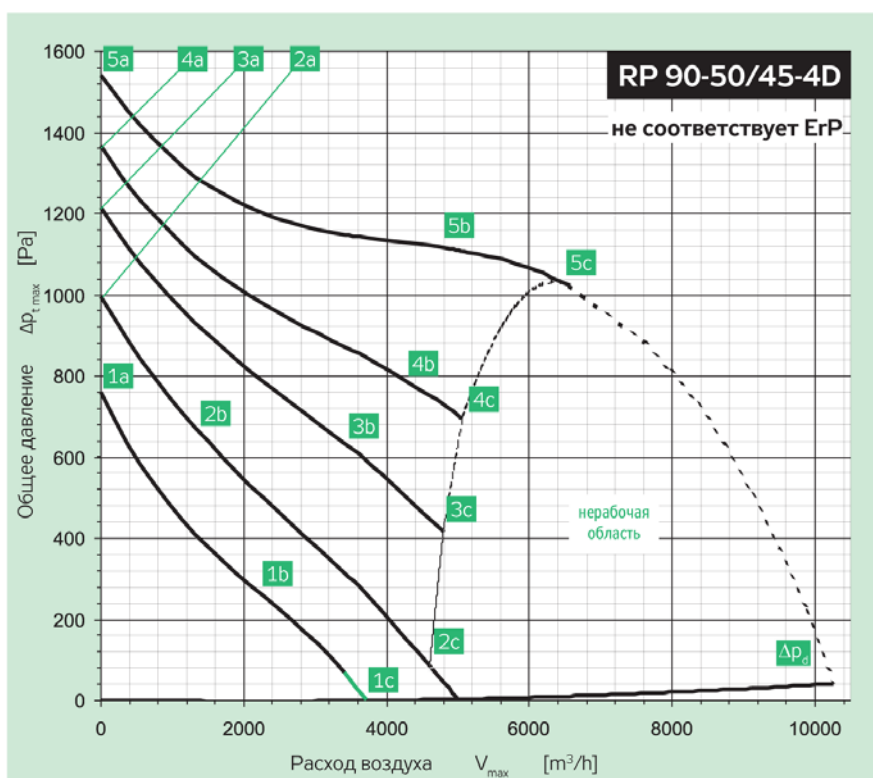
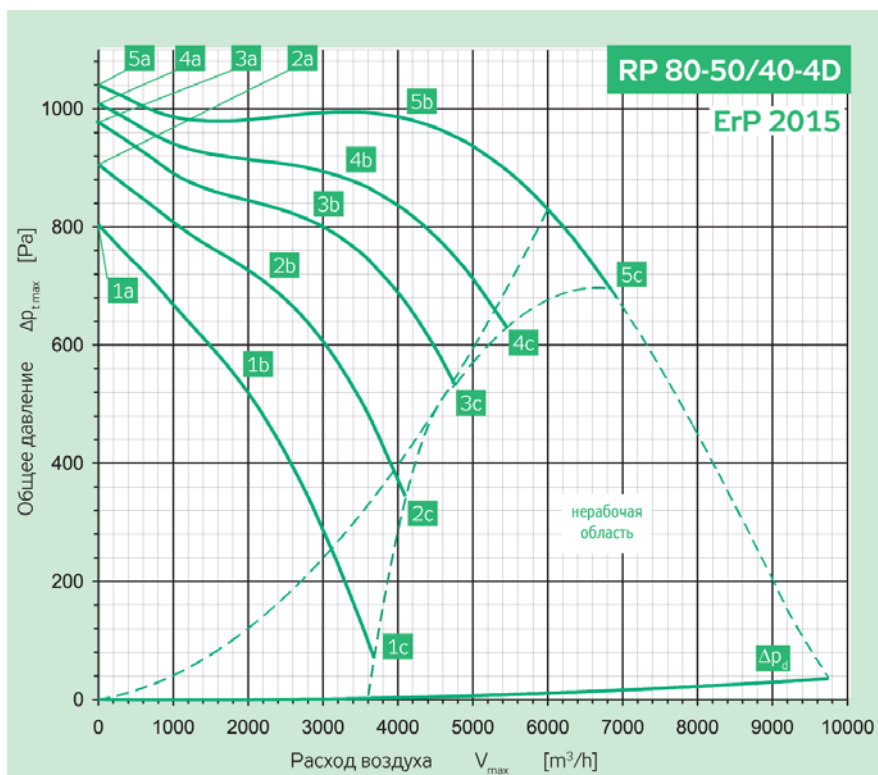
# ВЕНТИЛЯТОРЫ RP



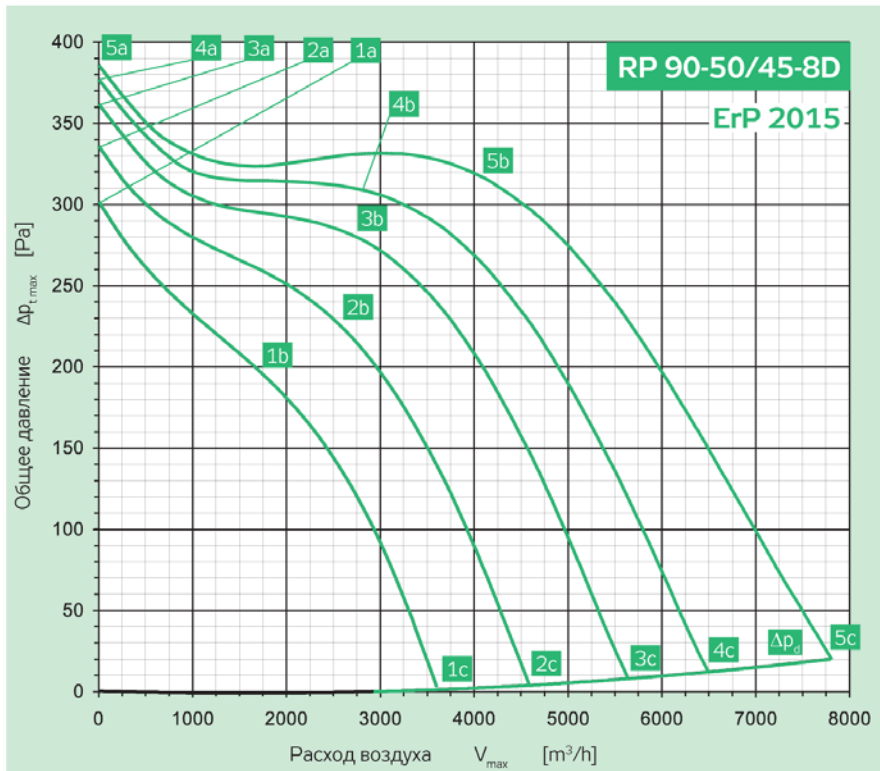
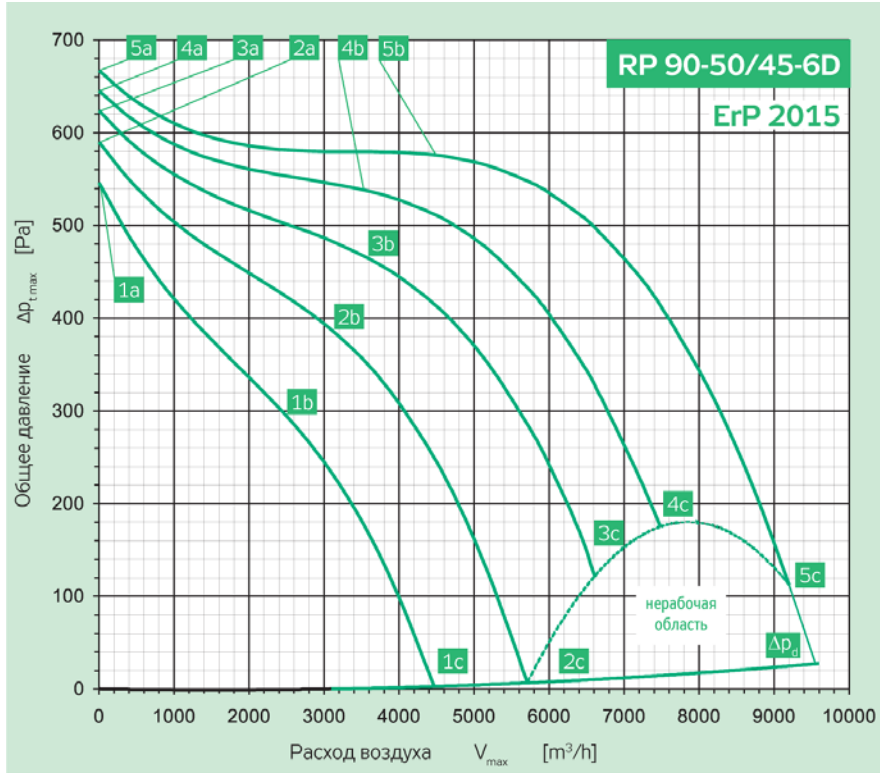
## ВЕНТИЛЯТОРЫ RP



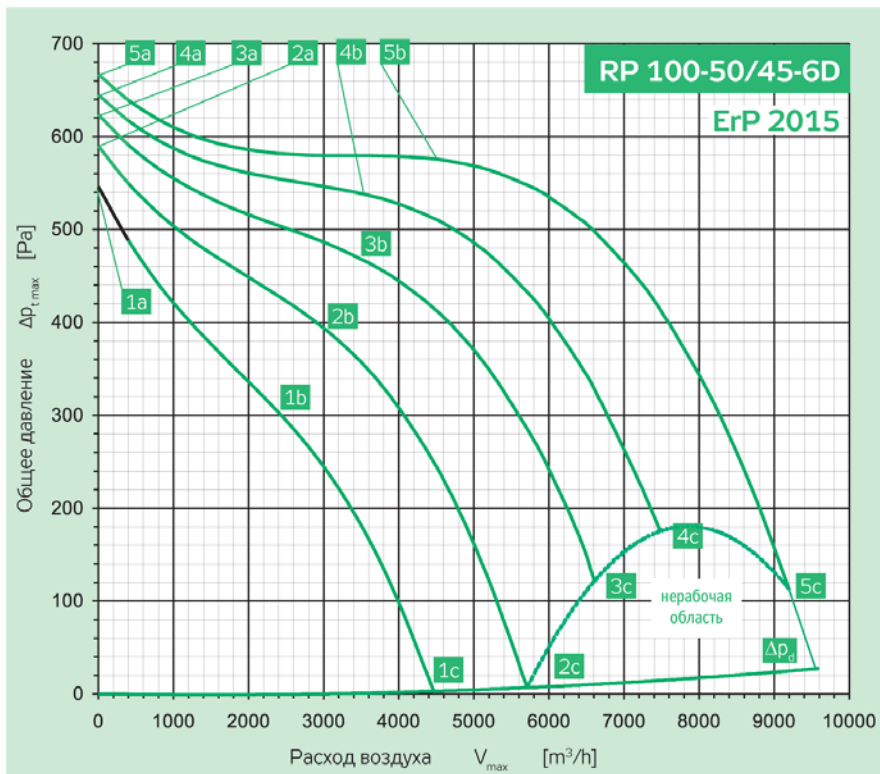
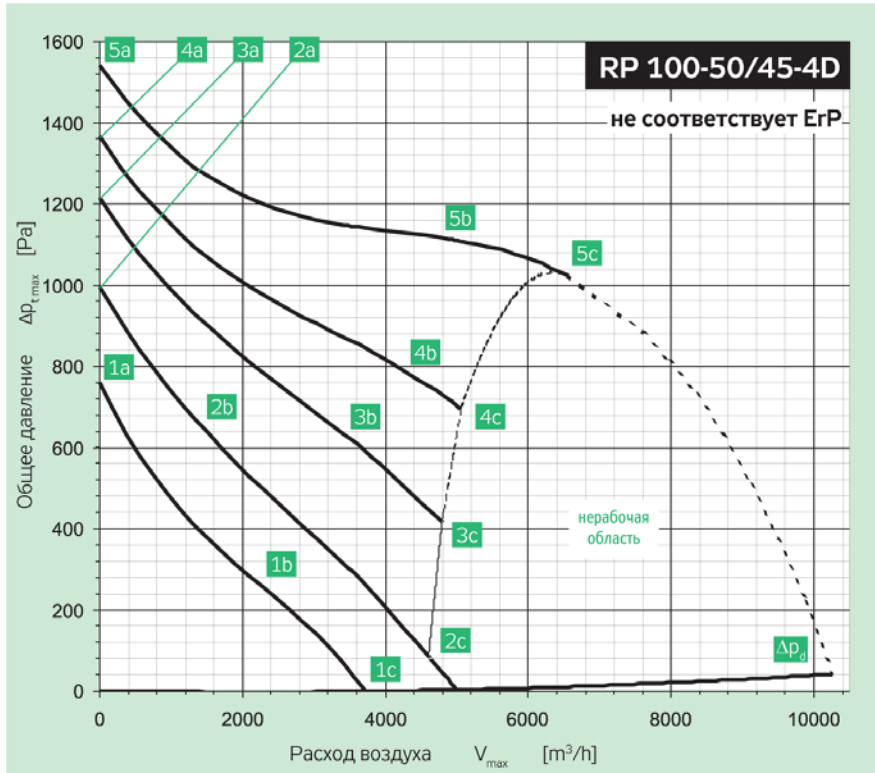
## ВЕНТИЛЯТОРЫ RP



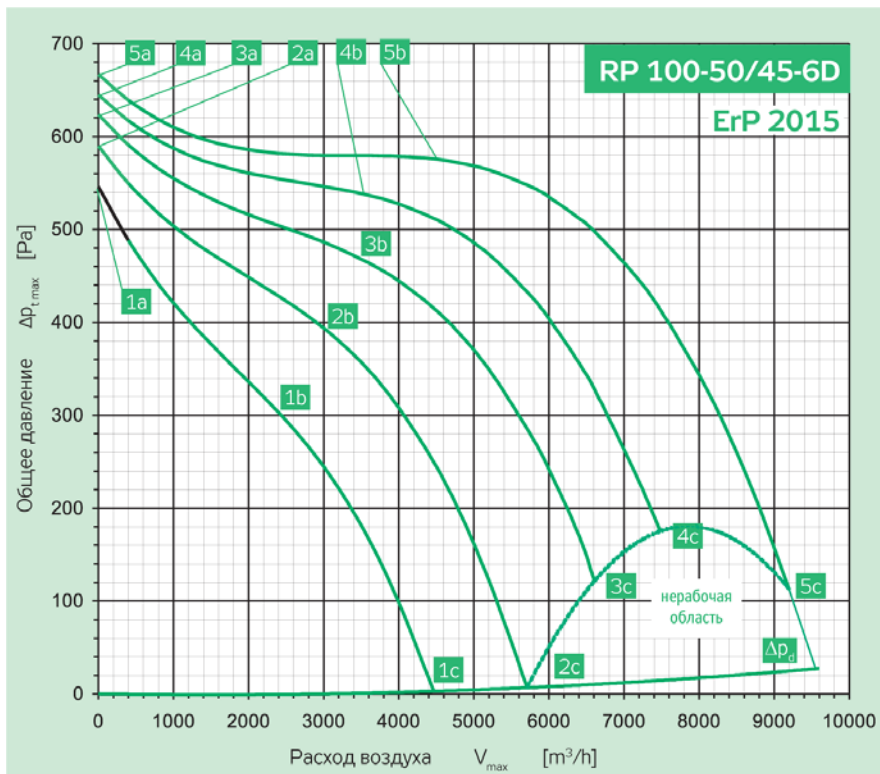
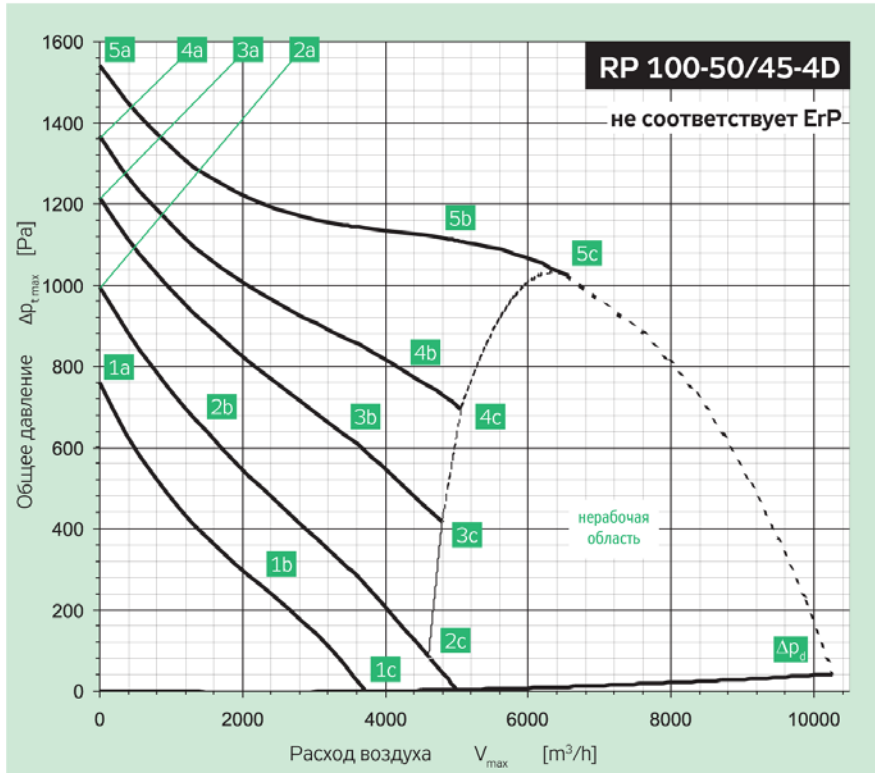
# ВЕНТИЛЯТОРЫ RP



# ВЕНТИЛЯТОРЫ RP

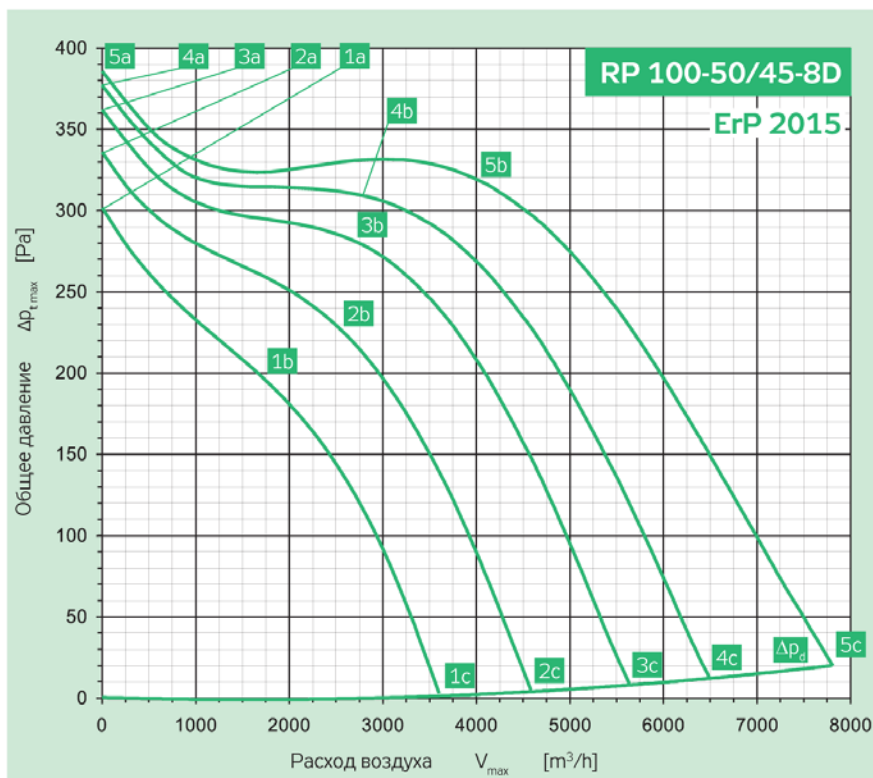


# ВЕНТИЛЯТОРЫ RP



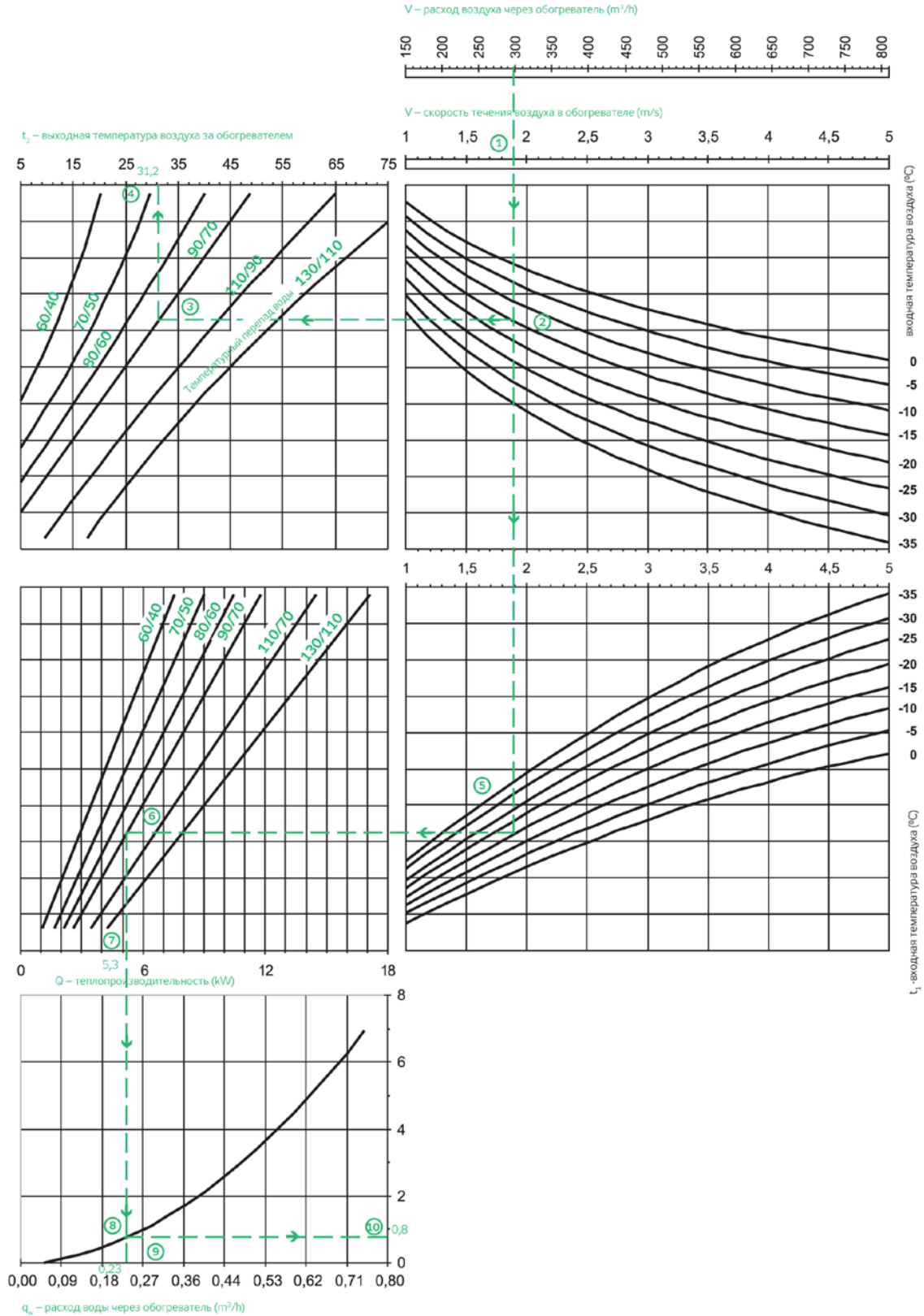


## ВЕНТИЛЯТОРЫ RP



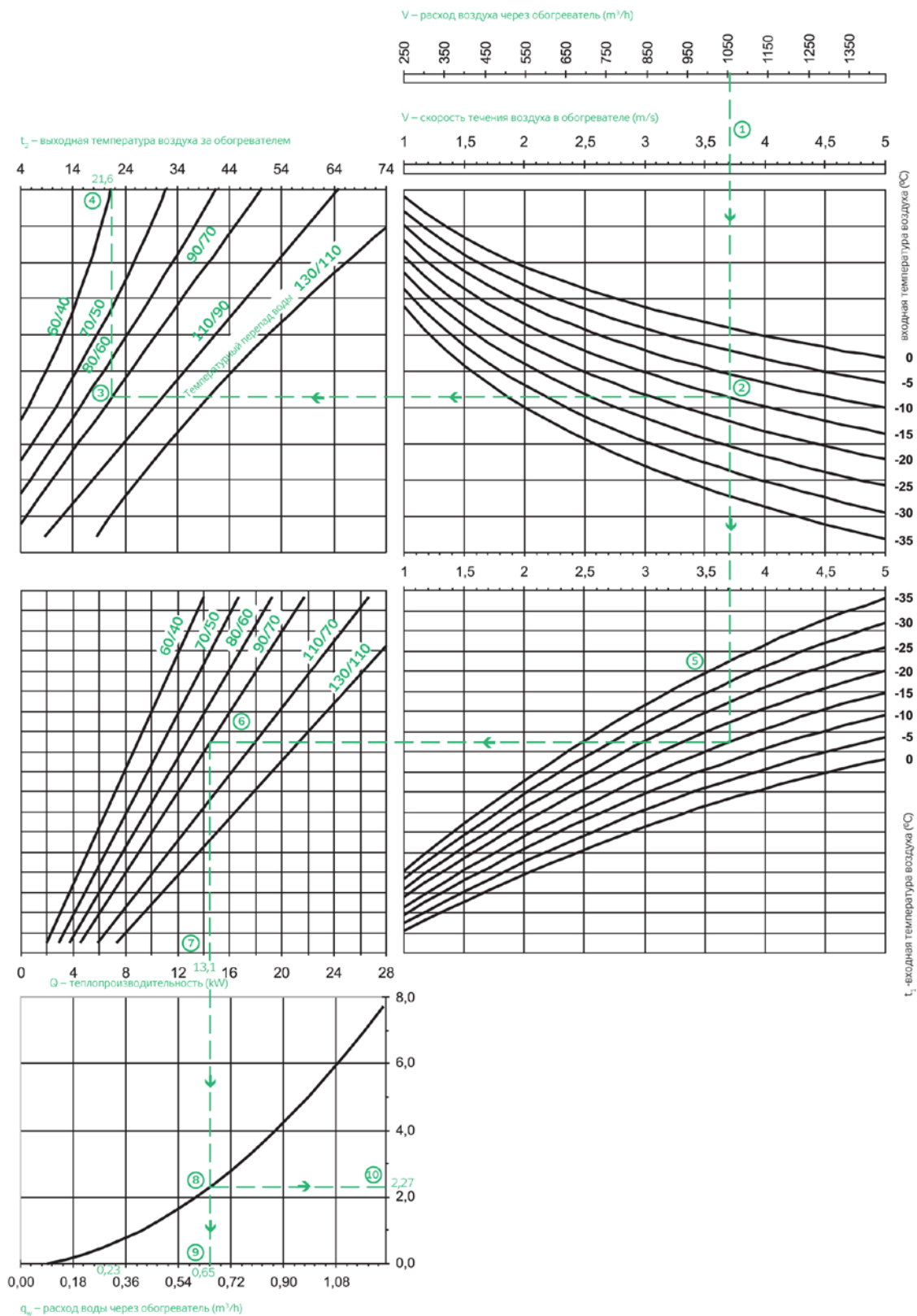
# ВОДЯНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ VO 30-15/2R

## Номограмма термодинамических зависимостей



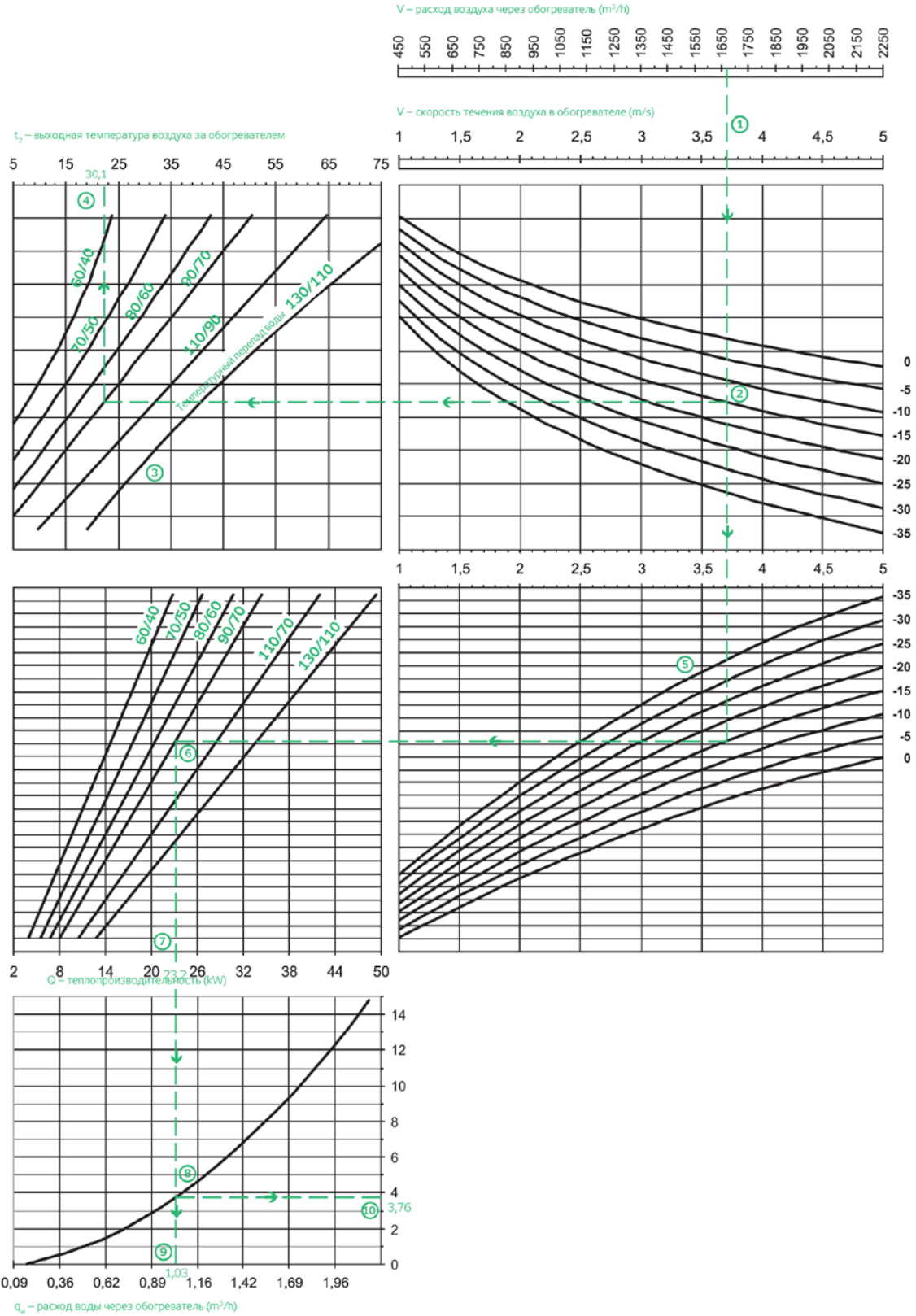
# ВОДЯНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ VO 40-20/2R

## Номограмма термодинамических зависимостей



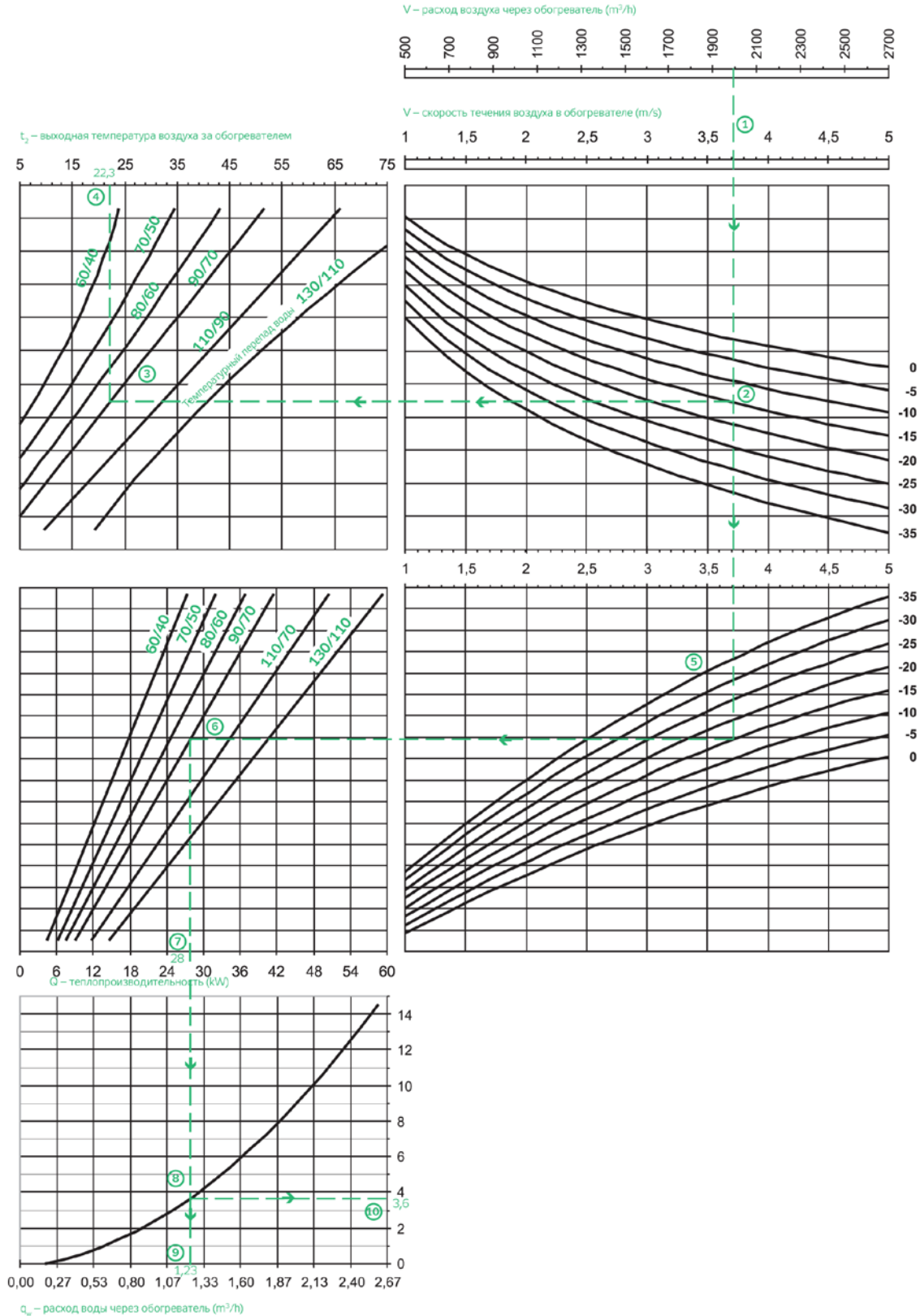
# ВОДЯНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ VO 50-25/2R

## Номограмма термодинамических зависимостей



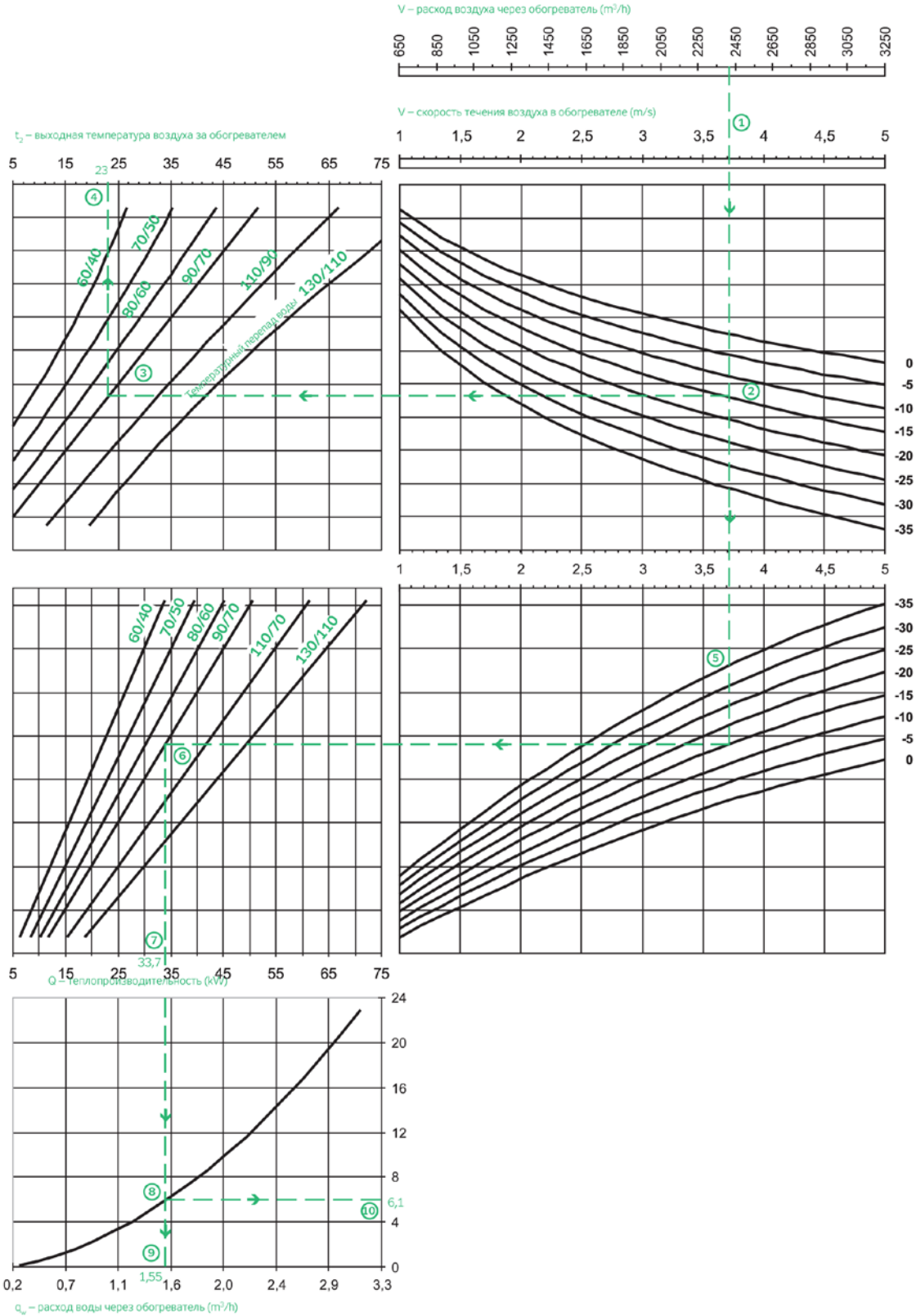
# ВОДЯНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ VO 50-30/2R

## Номограмма термодинамических зависимостей



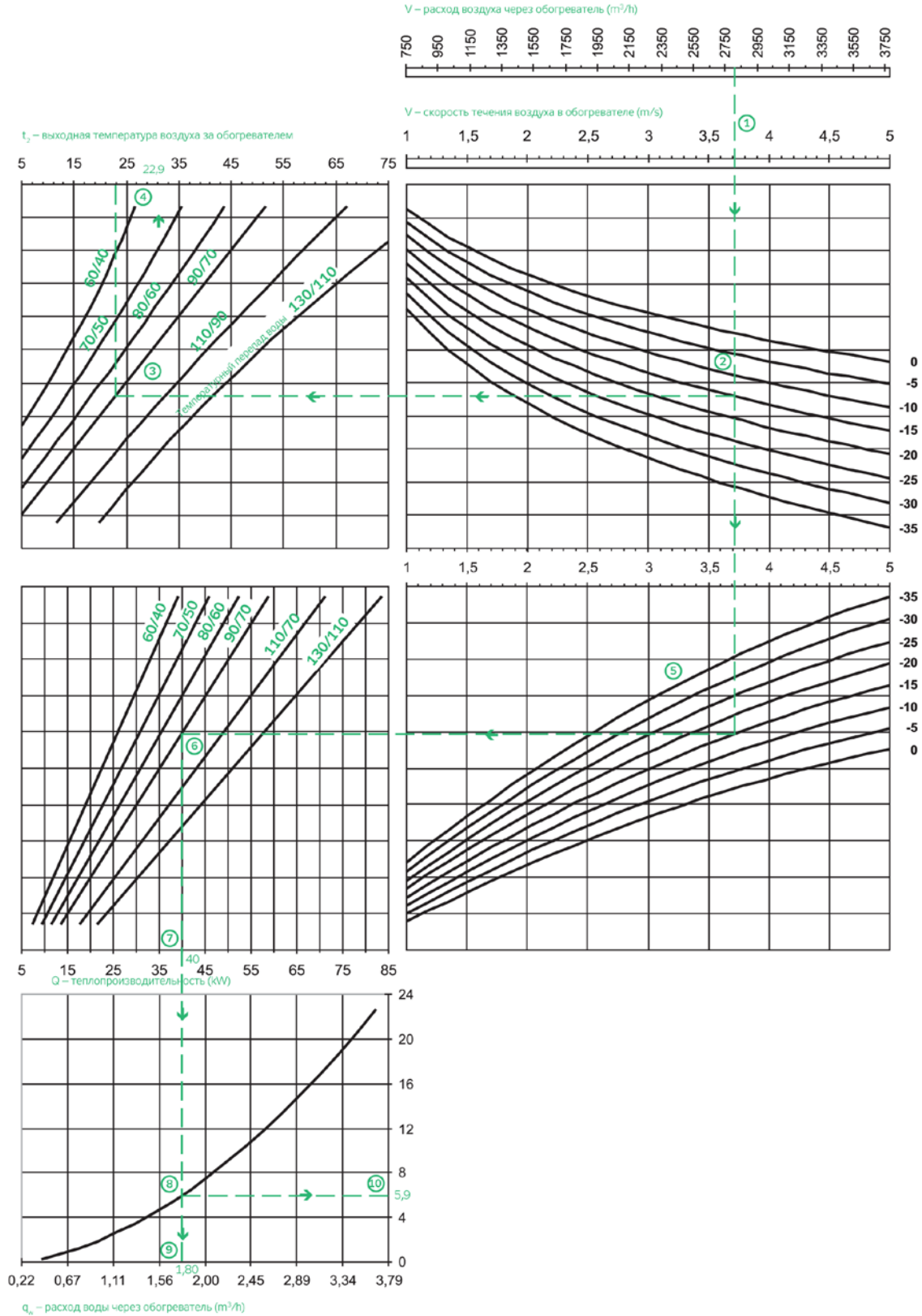
# ВОДЯНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ VO 60-30/2R

## Номограмма термодинамических зависимостей



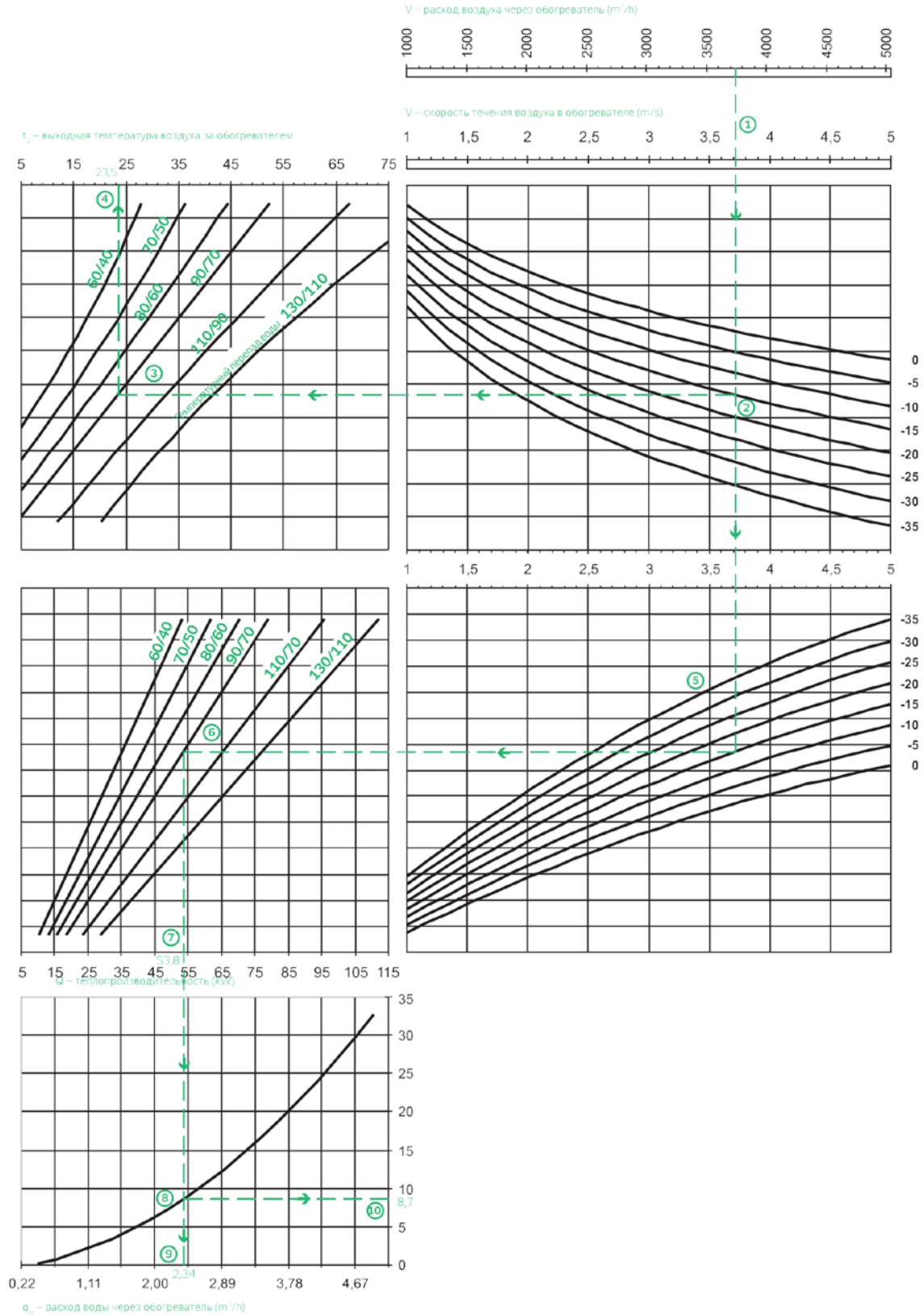
# ВОДЯНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ VO 60-35/2R

## Номограмма термодинамических зависимостей



# ВОДЯНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ VO 70-40/2R

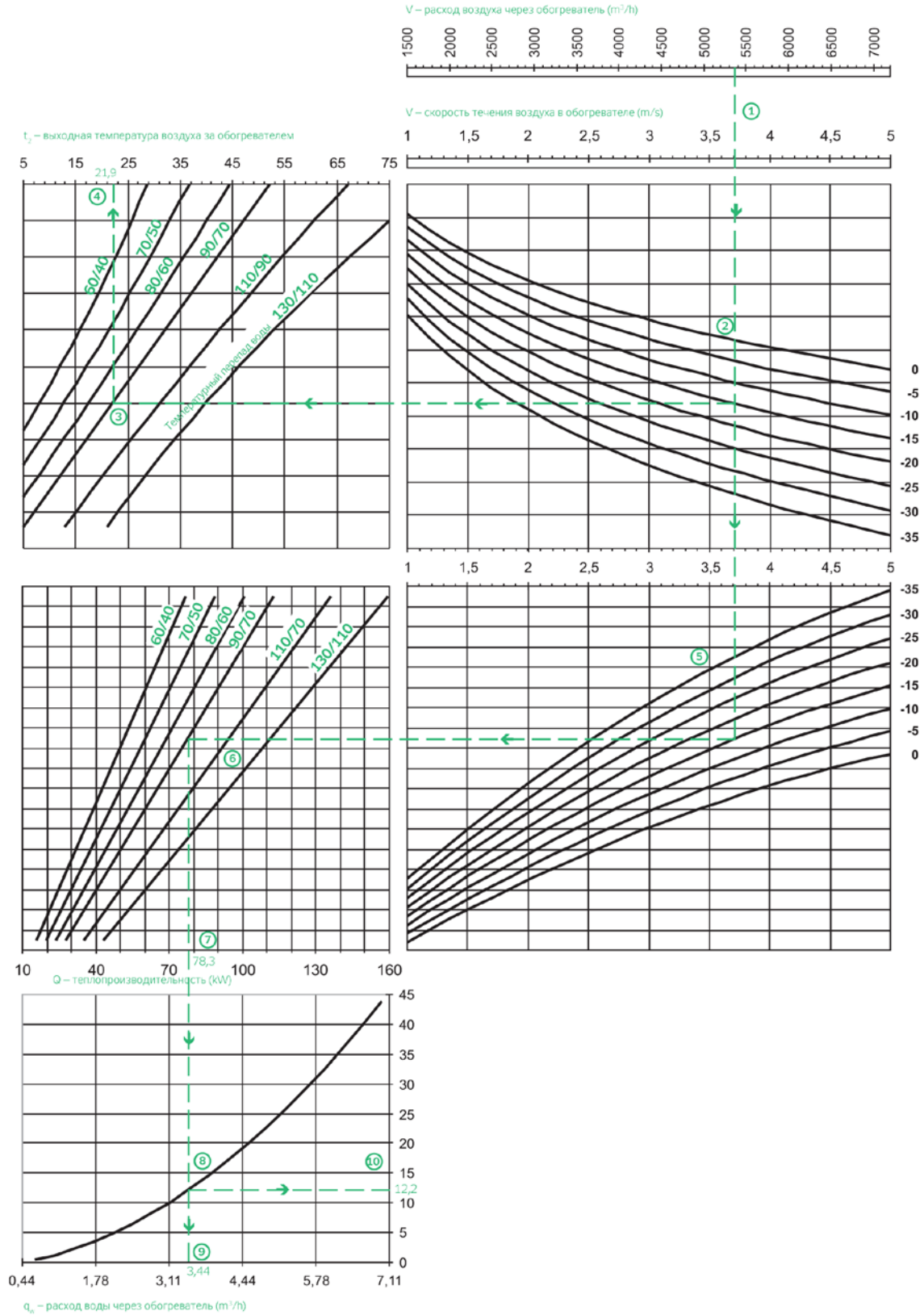
## Номограмма термодинамических зависимостей





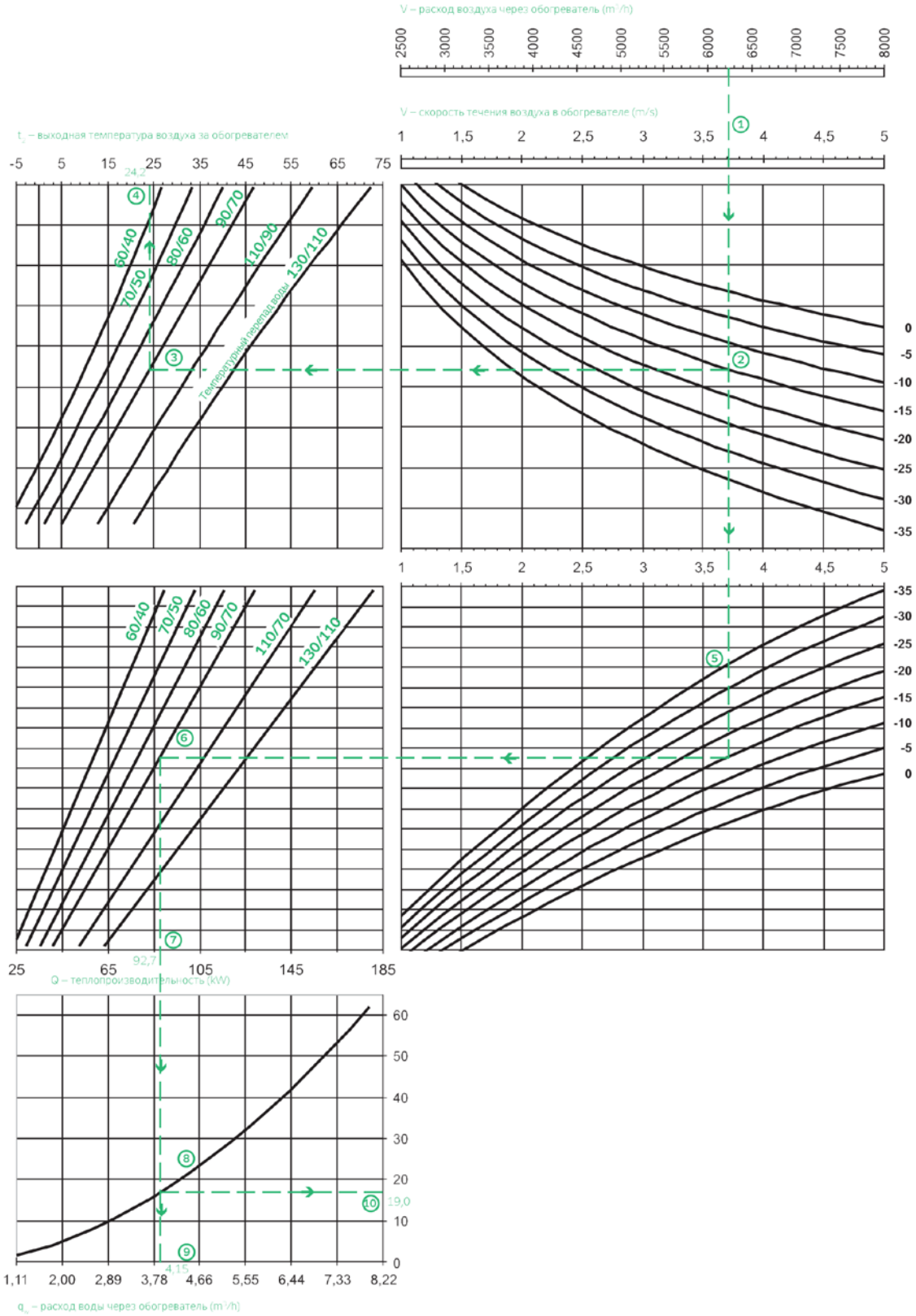
# ВОДЯНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ VO 80-50/2R

## Номограмма термодинамических зависимостей



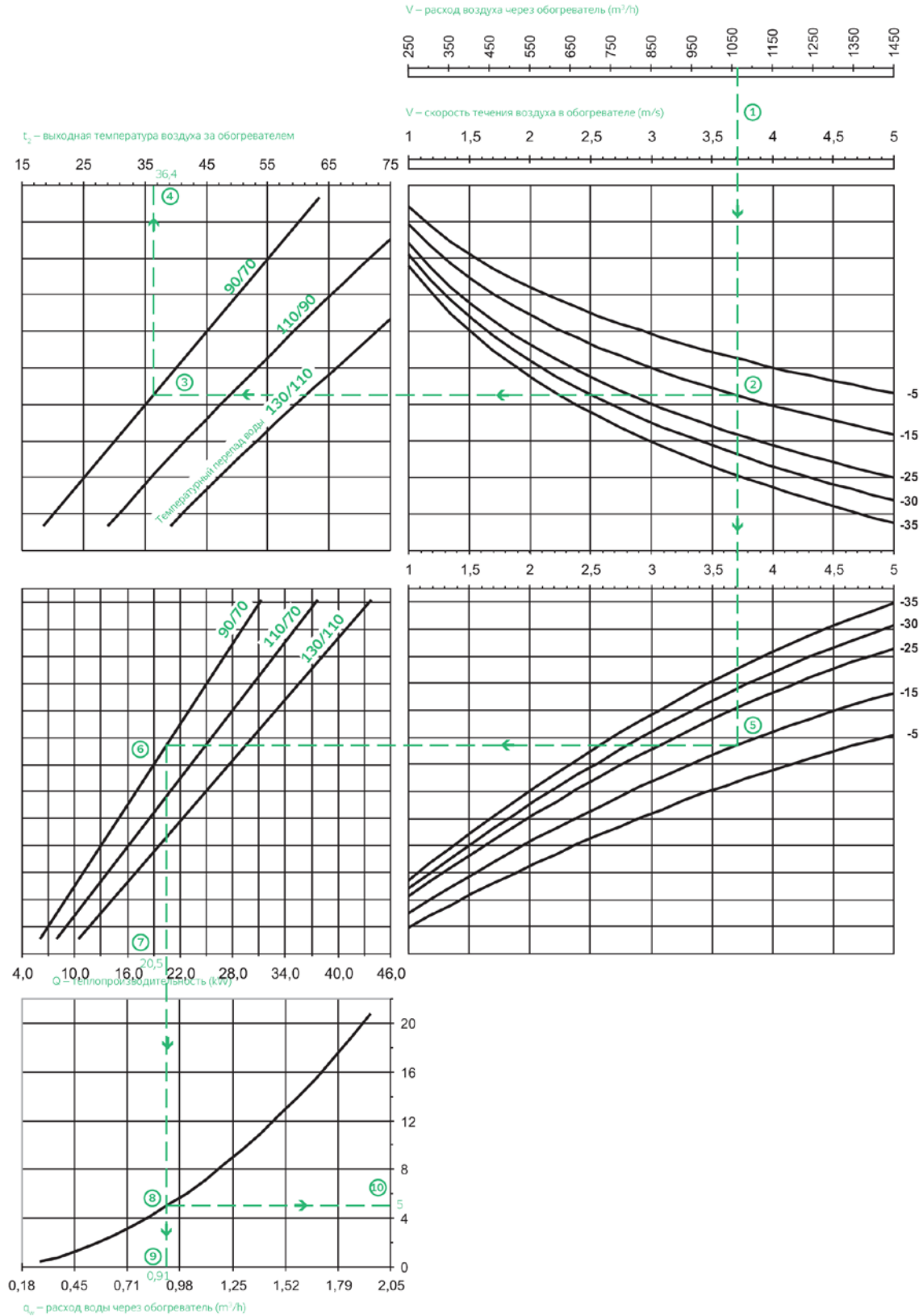
# ВОДЯНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ VO 90-50/2R

## Номограмма термодинамических зависимостей



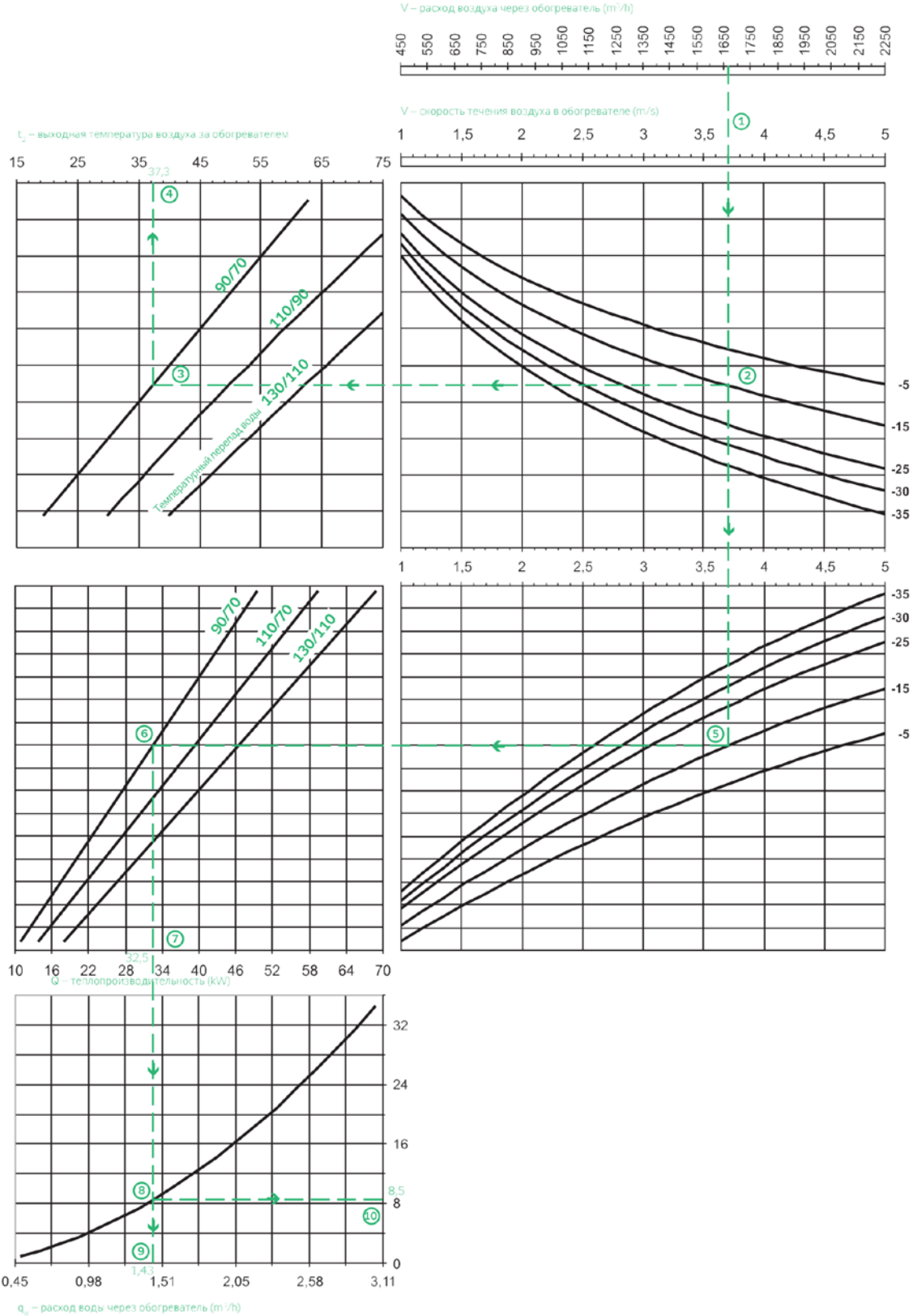
# ВОДЯНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ VO 40-20/3R

## Номограмма термодинамических зависимостей



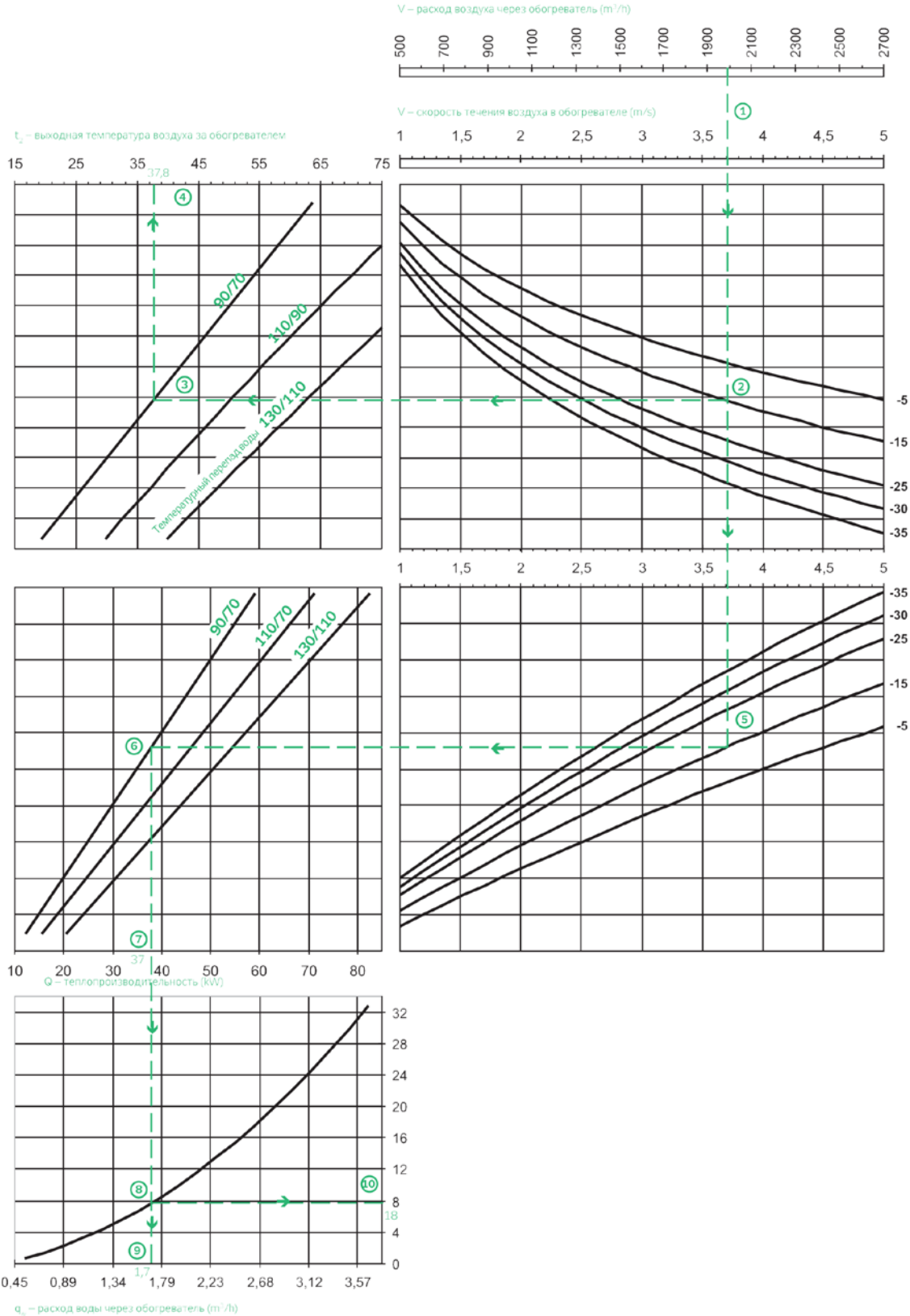
# ВОДЯНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ VO 50-25/3R

## Номограмма термодинамических зависимостей



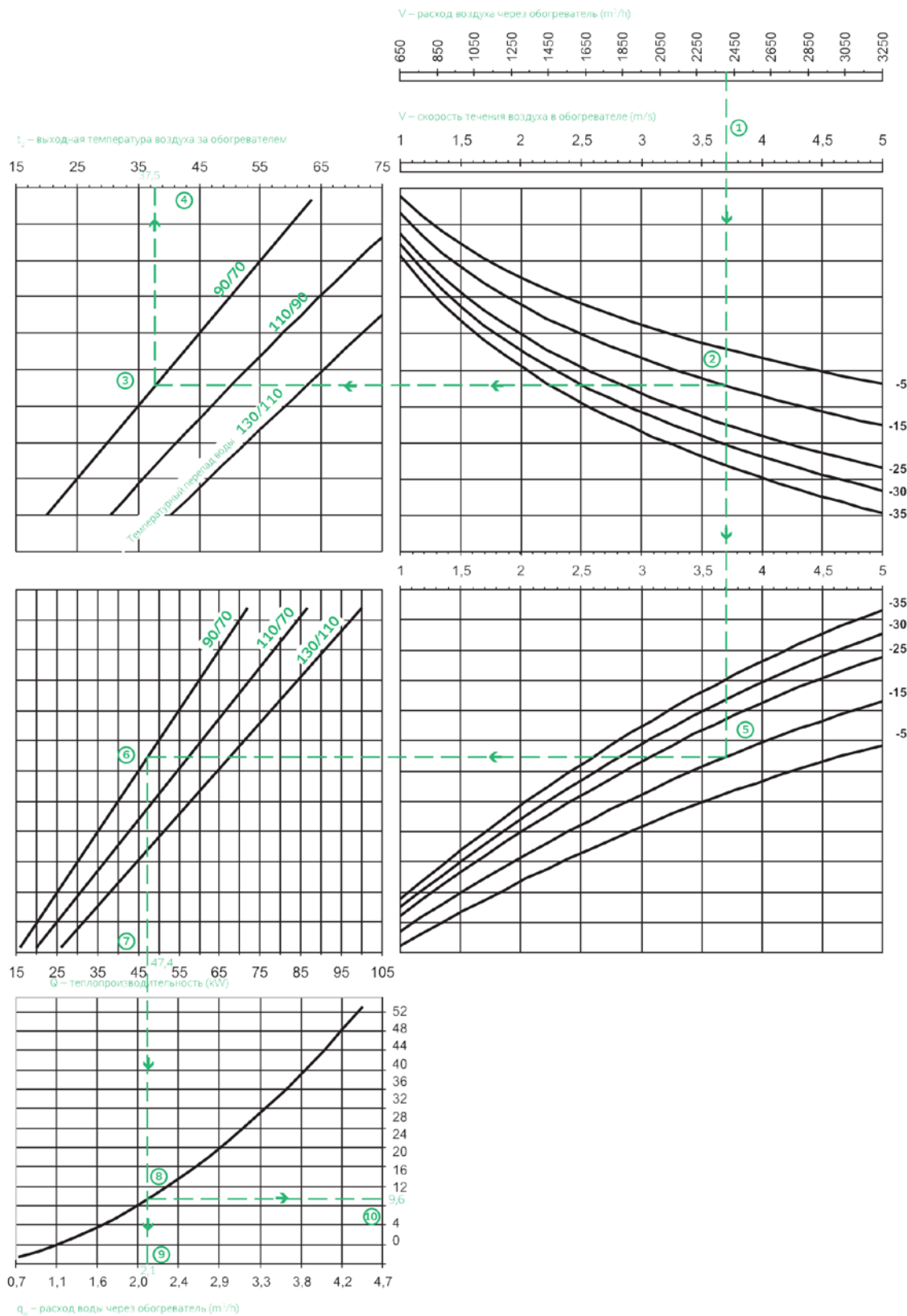
# ВОДЯНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ VO 50-30/3R

## Номограмма термодинамических зависимостей



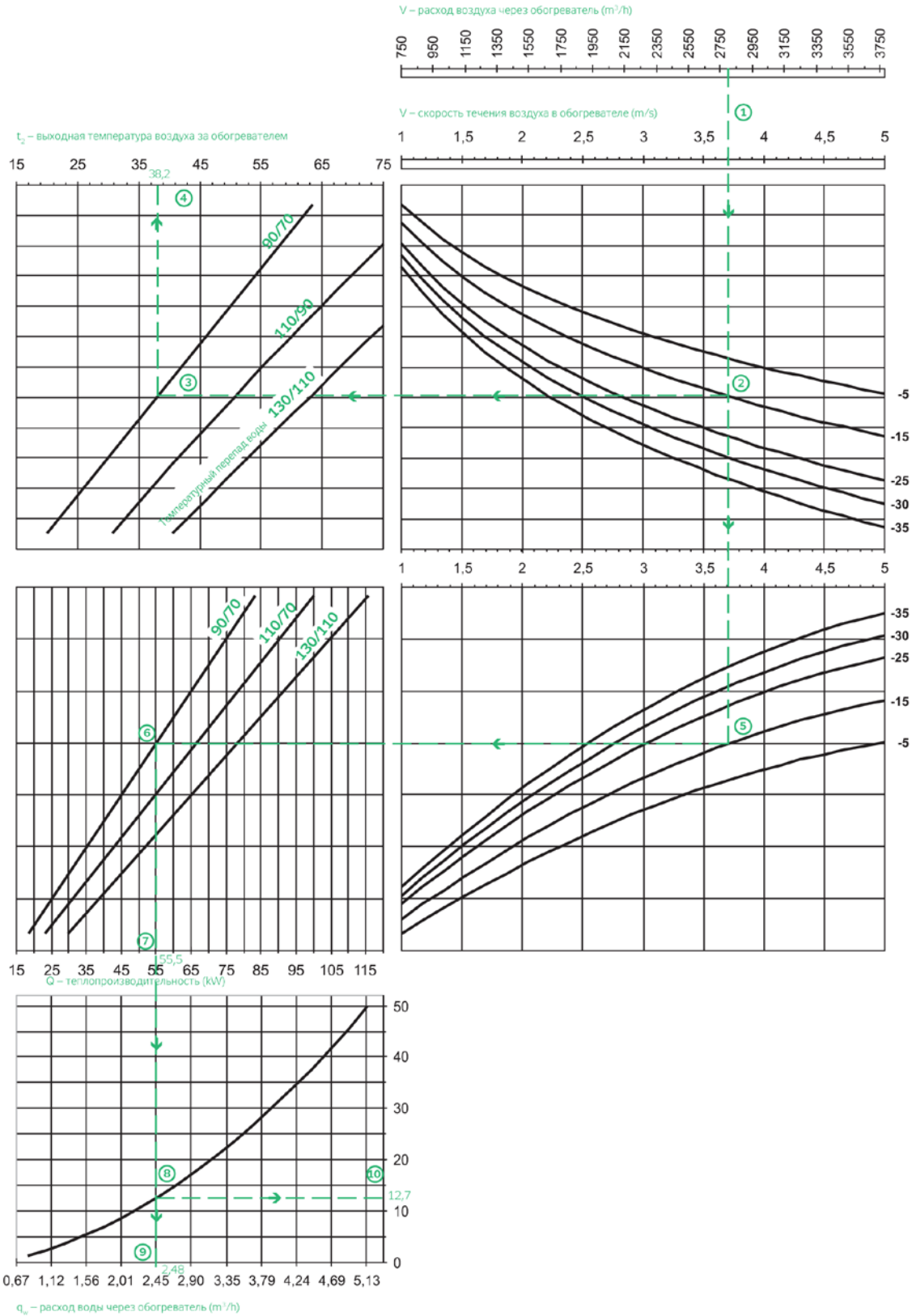
# ВОДЯНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ VO 60-30/3R

## Номограмма термодинамических зависимостей



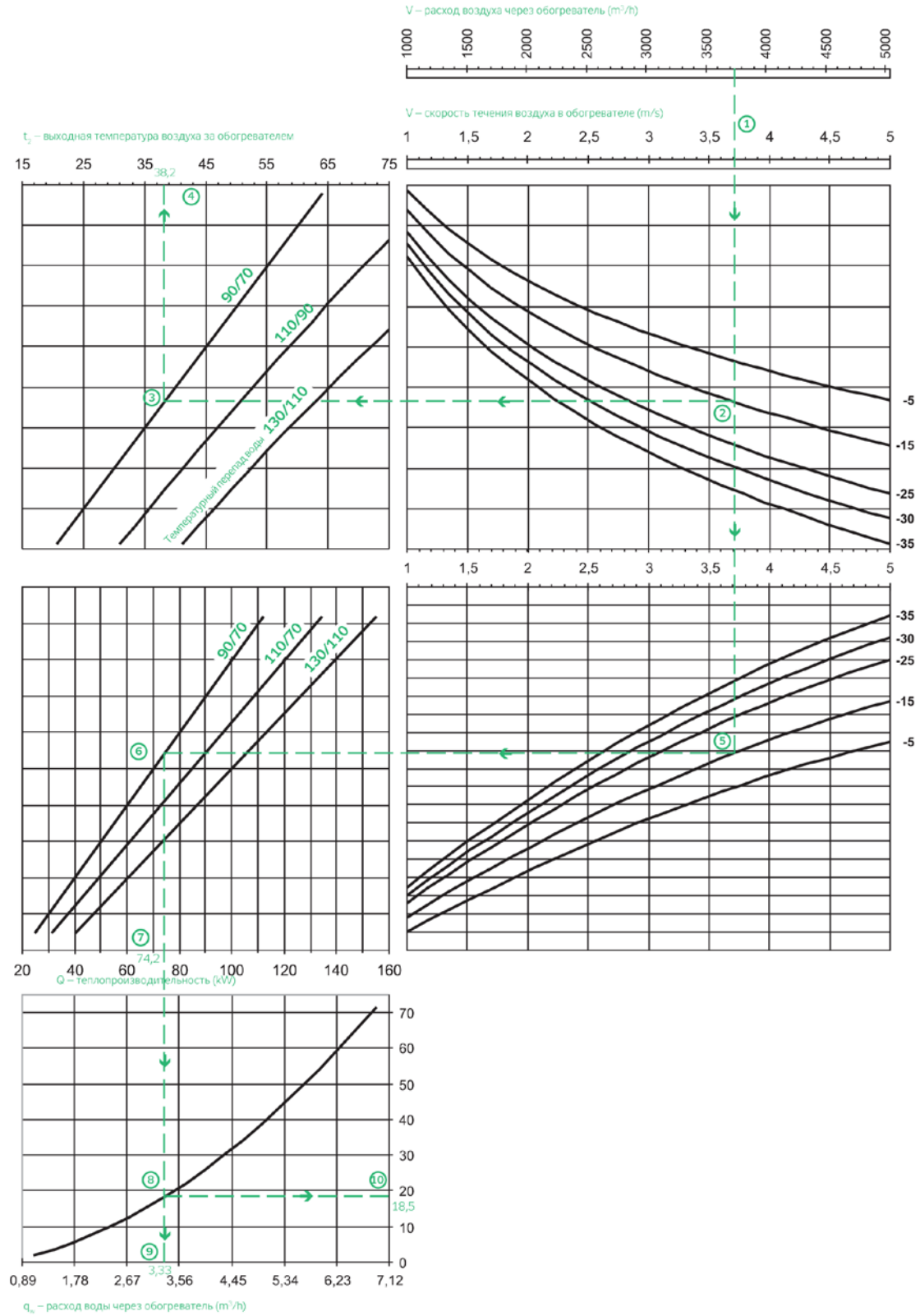
# ВОДЯНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ VO 60-35/3R

## Номограмма термодинамических зависимостей



# ВОДЯНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ VO 70-40/3R

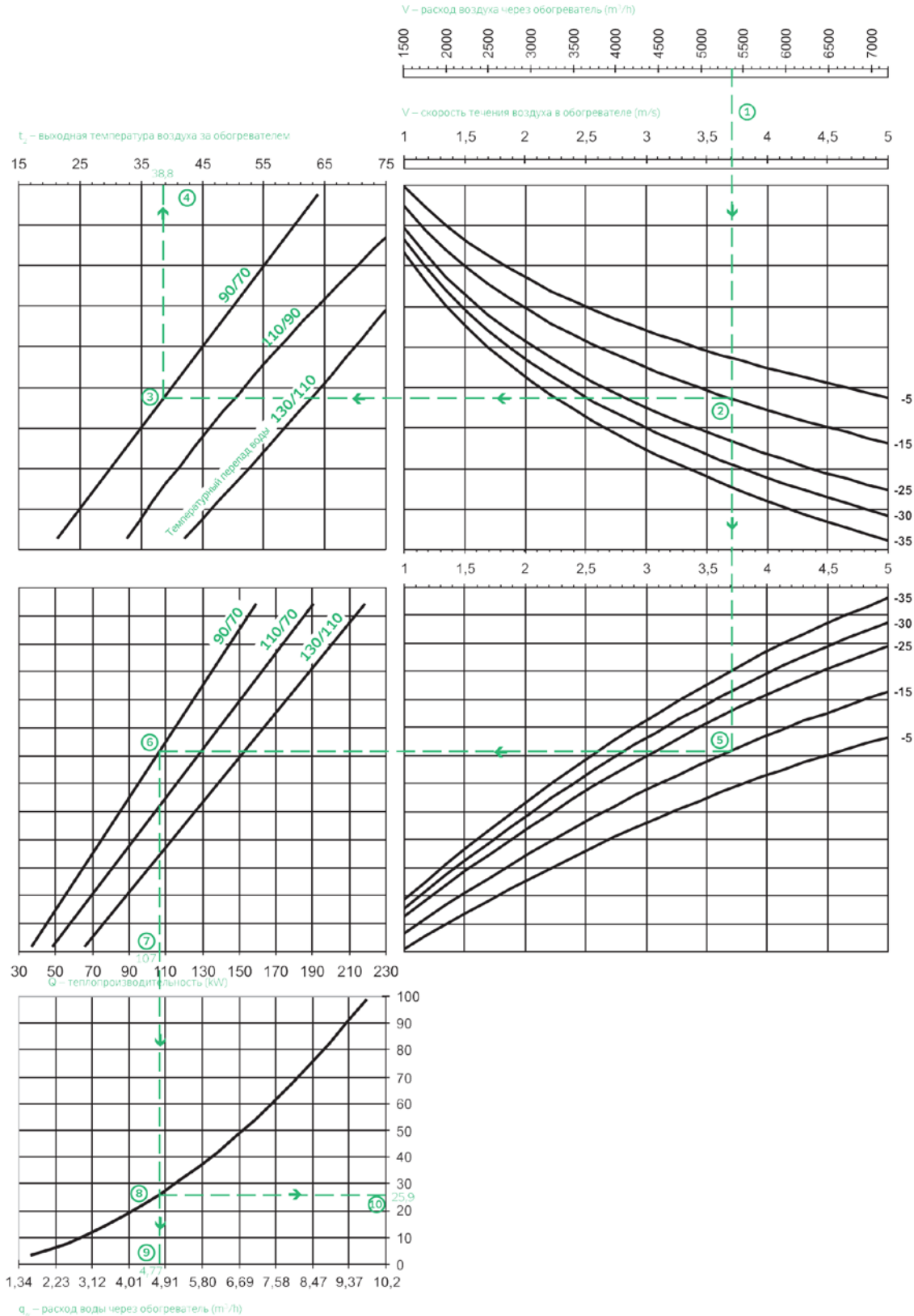
Номограмма термодинамических зависимостей





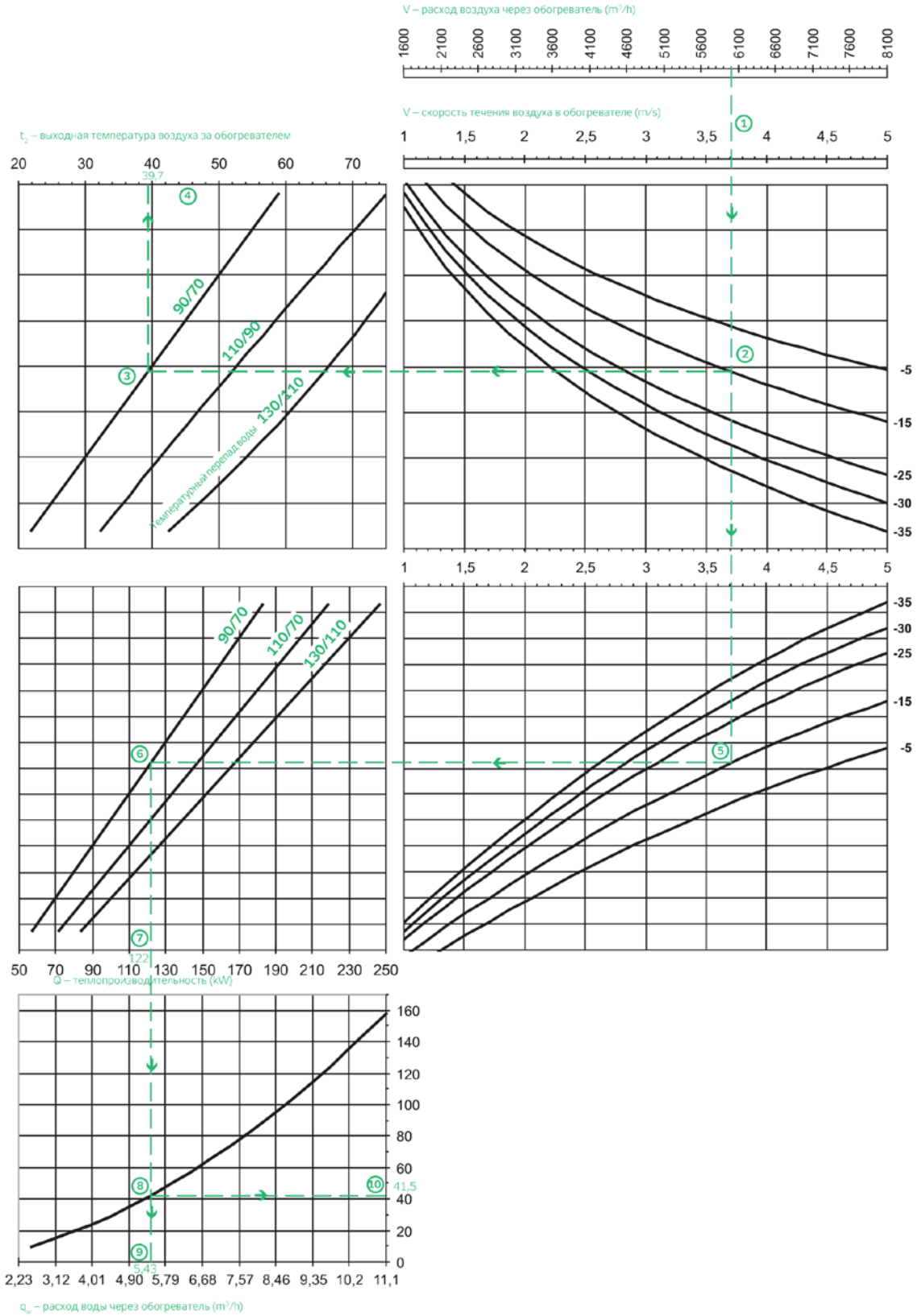
# ВОДЯНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ VO 80-50/3R

## Номограмма термодинамических зависимостей



# ВОДЯНЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ VO 90-50/3R

## Номограмма термодинамических зависимостей



Цыганков Александр Васильевич  
Долговская Ольга Владимировна

**РАСЧЕТ КАНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ  
КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ  
В MS EXCEL**

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