

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Д. А. Лапин, А. П. Абрамов

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЙ РАЧЕТ ГАЗОВОГО ТРАКТА (ТЯГИ) КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

методические указания к курсовой работе

Рекомендовано учебно-методической комиссией
направления подготовки бакалавров
13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»
в качестве электронного издания
для практического занятия

Кемерово 2017

Рецензенты:

Темникова Е.Ю. – доцент кафедры теплоэнергетики

Богомоллов А. Р. – председатель учебно-методической комиссии
направления подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника»

Лапин Дмитрий Александрович. Аэродинамический расчет газового тракта (тяги) котельной установки [Электронный ресурс]: методические указания к курсовой работе по дисциплине для студентов направления подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» / Д. А. Лапин, А. П. Абрамов. – Электрон. дан. – Кемерово: КузГТУ, 2017. – Систем. требования: Pentium IV ; ОЗУ 8 Гб ; Windows 2003. - Загл. с экрана.

Методические указания к курсовой работе составлены в соответствии с рабочей программой дисциплины «Тепловые двигатели и нагнетатели» и предназначены для бакалавров направления подготовки 13.03.01 «Теплоэнергетика и теплотехника».

© КузГТУ

© Лапин Д. А.

© Абрамов А.П.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Курсовая работа (КР) является собой творческий этап самостоятельного более глубокого изучения теории, отраслевых методик и приобретения практических навыков принятия инженерных решений в вопросах аэродинамического расчета котельных установок. Работа выполняется студентами очной формы обучения в течение 8-го семестра. Необходимость выполнения расчета газового тракта возникает в 10-м семестре в разделе «Котельные установки» дипломного проекта.

Для руководства выполнением курсовой работы кафедра назначает преподавателя, как правило, лектора дисциплины «Тепловые двигатели и нагнетатели». Руководитель КР не позже 15 дней с начала 8-го семестра должен выдать индивидуальные задания всем студентам для выполнения работы. Не реже 1 раза в неделю руководитель КР должен проводить для студентов консультации. Консультации проводятся в часы, установленные руководителем КР. Студент в это время должен регулярно (еженедельно) отчитываться расчетными и графическими материалами по заданной теме проектирования.

Цель аэродинамического расчета газового тракта (тяги) – установить параметры рабочего режима дымососной установки котельного агрегата для эксплуатации его с номинальной нагрузкой в соответствии с тепловым расчетом. Расчет следует выполнять по нормативному методу [1].

Исходные данные для расчета газового тракта котла по заданному номеру варианта принять из табл. 1. Схемы газовых трактов и характеристики отдельных элементов приведены в прил. 1. Характеристики дымососов производства России приведены в прил. 2.

Таблица 1

Варианты заданий для аэродинамического расчета
газового тракта котла

№ варианта	Q , $\text{м}^3/\text{с}$	$t_{\text{ГК}}$, $^{\circ}\text{C}$	$t_{\text{ГТ}}$, $^{\circ}\text{C}$	Тип ГОУ	$n_{\text{К}}$, шт	$h_{\text{ТР}}$, м	$d_{\text{ТР}}$, м	$P_{\text{ГК}}$, кПа	№ схемы	$r_{\text{H}_2\text{O}}$
1	1,7	225	200	БЦ	3	40	0,25	0,80	Г34-1	0,05
2	3,5	185	155	ЭФ	4	50	0,45	0,90	Г34-2	0,10
3	5,0	200	170	ЭФ+ТВ	5	60	0,70	1,00	Г41-1	0,15
4	7,0	175	145	ТВ	3	70	0,95	1,10	Г41-2	0,20
5	10,0	180	150	БЦ+ТВ	4	90	1,30	1,20	Г46-1	0,25

Продолжение табл. 1

6	12,0	195	170	ЭФ	5	100	1,60	1,30	Г46-2	0,27
7	15,0	210	180	ТВ	3	120	2,00	1,40	Г48-1	0,05
8	20,0	215	190	БЦ	4	140	2,50	1,50	Г48-2	0,10
9	25,0	160	130	ЭФ+ТВ	5	160	3,50	1,60	Г34-1	0,15
10	30,0	165	135	ТВ	3	180	4,00	0,85	Г41-2	0,20
11	35,0	220	195	БЦ	4	200	4,50	0,95	Г46-1	0,25
12	40,0	170	145	ЭФ	5	200	5,00	1,05	Г48-2	0,27

Q – расход дымовых газов на выходе из котла; $t_{ГК}$ и $t_{ГТ}$ – температура газов на выходе из котла и дымовой трубы; ГОУ – газоочищающее устройство; n_K – число котлов; $h_{ГТ}$ и $d_{ГТ}$ – высота и диаметр дымовой трубы; $P_{ГК}$ – потери давления дымовых газов в котле; БЦ, ЭФ, ТВ – батарейный циклон, электрофильтр, труба Вентури; γ_{H_2O} – доля паров воды в дымовых газах.

2. РАСЧЕТ ГАЗОВОГО ТРАКТА (РАСЧЕТ ТЯГИ)

2.1. Задачи проектирования

Для выполнения аэродинамического расчета газового тракта (расчета тяги) в курсовой работе, как и в реальном проекте, требуется последовательно решить следующие задачи:

- привести краткое описание котельного цеха и оборудования для выброса газов в атмосферу;
- составить и вычертить подробную схему котельного агрегата и газового тракта на листе формата А4;
- подобрать сечения труб и коробов с учетом рекомендованных скоростей транспортирования дымовых газов и изменения их температуры по мере движения из котла в атмосферу;
- подобрать стандартные устройства для эффективной очистки дымовых газов от механических примесей и токсичных соединений;
- подобрать стандартные элементы и устройства для управления работой газового тракта;
- составить таблицу с геометрическими характеристиками элементов газового тракта;
- выполнить гидравлический расчет газового тракта и установить аналитическое выражение его характеристики – $P_C = f(Q)$;
- выбрать серийный дымосос Российского производства;
- выбрать способ регулирования параметров рабочего режима и обосновать его эффективность в сравнении с другим (другими) способом;

- определить параметры работы дымососа для режимов нагружения: номинального, пикового, летнего;
- определить технико-экономические показатели работы дымососной установки для всех режимов нагружения.

2.2. Устройство котельного цеха и расположение дымососов

В этом параграфе необходимо привести краткое описание котельного цеха с указанием:

- типа и числа котельных агрегатов;
- продолжительности работы котельной в течение года;
- плановых режимов нагружения котельной и котельных агрегатов в течение года;
- планировочной схемы котельного цеха;
- планировочной схемы котельной станции (котельный цех, склад топлива, подъездные пути, прокладка газоходов, дымовая труба (трубы)).

2.3. Схема котельного агрегата и газового тракта

В этом параграфе необходимо:

- на листе формата А4 вычертить подробную схему котельного агрегата и газового тракта;
- описать работу газового тракта в номинальном, пиковом и частичном (летнем) режимах нагружения котельного агрегата;
- описать работу газового тракта при маневрировании;
- описать работу газового тракта при отказе технологического оборудования (дымососа, золоуловительного устройства и др.).

2.4. Сечения труб, коробов и каналов

Для установленного в тепловом расчете расхода дымовых газов, двигаясь по схеме газового тракта, с учетом изменения температуры газов, выбрать для каждого элемента тракта экономичную скорость и подобрать сечения труб, коробов и каналов. Для выполнения этой работы следует использовать рекомендации п. 2.3 или [1]. Для снижения потерь тепла и повышения безопасности предусмотреть установку на трубы и короба теплоизоляции и (или) ограждений.

Расход газов на участке от котла до дымососа можно считать постоянным, так как снижение температуры отчасти или полностью компенсируется присосами воздуха из атмосферы че-

рез неплотности газоходов. В этом случае расход газов перед дымососом определяется по формуле

$$Q = B_p(V_{г\ ух} + \Delta\alpha \cdot V^0) \frac{t_D + 273}{273}, \text{ м}^3/\text{ч} \quad (1)$$

где B_p – расчетный расход топлива с учетом механического недожога, кг/ч;

$V_{г\ ух}$ – объем продуктов горения на 1 кг топлива при избытке воздуха за воздухоподогревателем (на выходе из котла), $\text{м}^3/\text{кг}$;

$\Delta\alpha$ – присос воздуха в газоходах за воздухоподогревателем, ед.;

V^0 – теоретическое количество воздуха на 1 кг топлива, $\text{м}^3/\text{кг}$;

t_D – температура газов перед дымососом, $^{\circ}\text{C}$.

Величины B_p , $V_{г\ ух}$ и V^0 следует принимать непосредственно из теплового расчета. Величина $\Delta\alpha$ принимается с учетом длины газоходов в пределах 0,05-0,10 по рекомендациям нормативного метода [1]. При присосе воздухоподогревателем $\Delta\alpha > 0,10$ температура газов перед дымососом определяется по формуле

$$t_D = \frac{\alpha_{ух} \cdot t_{ух} + \Delta\alpha \cdot t_{хв}}{\alpha_{ух} + \Delta\alpha}, \text{ } ^{\circ}\text{C} \quad (2)$$

где $\alpha_{ух}$ – избыток воздуха в уходящих газах (за воздухоподогревателем – на выходе из котла), ед.;

$t_{ух}$ – температура газов уходящих из котла (за воздухоподогревателем), $^{\circ}\text{C}$;

$t_{ух}$ – температура холодного воздуха (атмосферного в помещении котельной), $^{\circ}\text{C}$.

При условии $\Delta\alpha < 0,10$ температура газов перед дымососом принимается равной температуре их за воздухоподогревателем.

При использовании мокрых золоуловителей температура и объем газов перед дымососом определяется по рекомендациям нормативного метода [1].

2.5. Устройства для очистки дымовых газов

Котельные агрегаты поставляются комплектно с вспомогательным оборудованием, в том числе с установкой очистки дымовых газов. В этом параграфе необходимо привести паспортные данные устройства очистки дымовых газов и привести схему со-

единения его секций между собой (допускается описать их соединение текстом).

Для уменьшения выбросов в атмосферу и улучшения экологической обстановки в регионе следует использовать многоступенчатые системы очистки дымовых газов от механических примесей и токсичных химических соединений.

2.6. Стандартные элементы и устройства для управления дымососной установкой

При комплектации газового тракта коробами стандартного сечения следует, как правило, использовать стандартные элементы трубопроводной арматуры: колено, тройник, отвод, диффузор, в том числе для управления дымососной установкой – клапаны разного типа и назначения. Величины коэффициентов местного сопротивления для этих элементов следует принимать по расчетным таблицам (РТ-1 – РТ-7) и графикам (1-61) [1].

Допускается при необходимости и обосновании использовать нестандартные элементы трубопроводной арматуры, как вынужденную меру для компактной прокладки и коммутации со стандартными элементами (золоуловитель, дымосос, коллектор и др.). Строительство нестандартных элементов, как правило, обходится дороже в 1,2-1,5 раза.

2.7. Таблица с геометрическими характеристиками элементов тракта

Следует составить таблицу, в которой необходимо перечислить все элементы газового тракта и привести их геометрические характеристики.

В приделах таблицы следует выделить участки:

- от топки через воздухоподогреватель и экономайзер до выхода из котла;
- от котла до золоуловителя,
- от золоуловителя до дымососа,
- от дымососа до коллектора,
- от коллектора до выброса в атмосферу.

Для крупных энергетических котлов рекомендуется в расчете тяги выделять большее число участков, что упрощает их моделирование.

Для примера оформления можно использовать табл. 2, но нумерация элементов газового тракта должна производиться, начиная с котла с увеличением по ходу движения дымовых газов с выбросом в атмосферу: 1г, 2г, 3г и т.д.

Таблица 2

Характеристики элементов газового тракта

№ по схеме	Наименование	Размеры: $L, a, b, d, S_1, S_2, \dots$	Примечание
1г	шибер	$S = 1 \times 1 = 1,0 \text{ м}^2$;	см. рис. 1
2г	короб	$a = b = 1 \text{ м}; L = 4 \text{ м}$	
3г	короб	$a = b = 1 \text{ м}; L = 2 \text{ м}$	
4г	тройник	$S_H = 1,0 \text{ м}^2$; $S_K = 1,0 \text{ м}^2$; $L = 1 \text{ м}$	
9г	батареяный циклон БЦ-2-7	$Q_{3УП} = 42,2 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}$; $P_{3УП} = 45 \text{ кг/м}^2$	
26г	дымовая труба	$d_H = d_K = 1,82 \text{ м}; H = 45 \text{ м}$	

2.8. Аэродинамический расчет газового тракта и его характеристика $P_C = f(Q)$

Аэродинамический расчет газового тракта выполняется для определения его характеристики, которая имеет вид

$$P_C = R \cdot Q^2. \quad (3)$$

Для этого необходимо рассчитать перепад полных давлений (P) для заданного расхода дымовых газов через дымосос в номинальном режиме нагружения (Q) и установить величину коэффициента гидродинамического сопротивления (R).

В общем случае перепад полных давлений можно представить суммой

$$P = P_{ГК} + P_{ГТ1} + P_{3У} + P_{ГТ2} + P_{ГН} + P_{ДГ} - P_{СТ}, \quad (4)$$

где $P_{ГК}$ – потери давления дымовых газов от топки до выхода из котла, Па;

$P_{ГТ1}$ – потери давления в тяговой части тракта от котла до золоуловителя, Па;

$P_{3У}$ – потери давления в золоуловителе, Па;

$P_{ГТ2}$ – потери давления в тяговой части тракта от золоуловителя до дымососа, Па;

$P_{ГН}$ – потери давления в нагнетательной части тракта от дымососа до выхода в атмосферу, Па;

$P_{ДГ}$ – динамическое давление дымовых газов на входе из трубы в атмосферу (скоростной напор), Па;

$P_{СТ}$ – давление самотяги, обусловленное разницей плотностью дымовых газов в начале и в конце вертикального (наклонного) участка тракта, Па.

Порядок расчета газового тракта:

- расчет сопротивлений всех участков тракта по плотности сухого воздуха;
- расчет самотяги по всем вертикальным участкам тракта;
- суммируются все сопротивления, и вносится поправка на реальные условия;
- суммируется самотяга по всем вертикальным участкам без поправок;
- расчет полного перепада давлений в газовом тракте (алгебраическая разность суммарного сопротивления и суммарной самотяги).

Для коммутации газоходов с подводщими и отводящими патрубками стандартных изделий используются диффузоры и конфузоры разной конструкции, где поток преодолевает дополнительные сопротивления движению. Такие элементы тракта называют местными сопротивлениями с переменным сечением, где изменяется величина скорости движения газов. К местным сопротивлениям еще относятся элементы тракта, в которых при постоянном сечении (скорости потока) происходит изменение направления движения потока газов. Эти дополнительные потери давления принято определять с использованием коэффициента местного сопротивления по классической формуле

$$\Delta P = \xi \cdot \rho \frac{w^2}{2}, \text{ Па} \quad (5)$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления, величина которого зависит от типа сопротивления, конструкции сопротивления, размера (условного диаметра) сопротивления, технологии изготовления и направления движения потока газа (жидкости);

ρ – плотность газов (воздуха), кг/м³;

w – средняя скорость движения потока газов (воздуха), м/с.

Формула (5) не учитывает длину местного сопротивления, измеренную по траектории движения потока газов, а учитывает только потери давления из-за изменения величины скорости движения или направления движения. Принято считать, что потери давления в местном сопротивлении сосредоточены в плоскости, которая делит его по длине на две равные части. Поэтому строительная длина местного сопротивления делится пополам и прибавляется к длине примыкающего к нему прямолинейного участка с каждой стороны.

При любом местном сопротивлении, связанном с изменением сечения, численное значение коэффициента сопротивления зависит от того, к какому сечению, то есть к какой расчетной скорости оно относится. Для исключения ошибки следует помнить, что коэффициент местного сопротивления показывает, во сколько раз дополнительные потери давления отличаются от потерь давления прямолинейного участка трубопровода той же длины с постоянным сечением, равным сечению местного сопротивления на входе. Поэтому для определения коэффициента местного сопротивления можно использовать выражение

$$\xi_2 = \xi_1 \left(\frac{F_2}{F_1} \right)^2 = \xi_1 \left(\frac{w_1}{w_2} \right)^2, \quad (6)$$

где ξ_1 – коэффициент сопротивления, отнесенный к скорости в сечении F_1 ;

F_1 и F_2 – площадь поперечного сечения местного сопротивления на входе и выходе потока, м^2 ;

w_1 и w_2 – скорость движения потока во входном и выходом сечении местного сопротивления, м/с .

Разберем пример определения потерь давления для схемы, приведенной на рис. 1. Потери давления в тяговой части тракта от котла до золоуловителя $R_{ГТ1}$ будут складываться при последовательном прохождении дымовыми газами следующих элементов тракта: 3г-4г-5г-6г-7г-8г. Элементы 3г, 5г и 7г – коробка сечением 1 м^2 ($1 \times 1 \text{ м}$), элемент 4г – равнопроходный тройник сечением 1 м^2 ($1 \times 1 \text{ м}$) длиной 1 м, элемент 6г – шибер открытый сечением 1 м^2 ($1 \times 1 \text{ м}$) длиной 0,2 м, элемент 8г – конфузор с входным сечением $1 \times 1 \text{ м}$, выходным сечением диаметром 0,9 м и длиной 0,8 м.

Эквивалентный диаметр коробов, шиберов и входного сечения конфузора – $d_{\text{э}} = 2 \cdot a \cdot b / (a + b) = 2 \cdot 1 \cdot 1 / (1 + 1) = 1$ м. При расходе дымовых газов в нашем примере 36,4 тыс. м³/ч при сечении короба 1 м² скорость движения газов составит $w = 36400 / (3600 \cdot 1) = 10,11$ м/с. При общей длине коробов 3г, 5г и 7г 10 м и суммарной длине местных сопротивлений 4г, 6г и 8г 2 м получим $P_{3\text{г}} + P_{5\text{г}} + P_{7\text{г}} = 0,03 \cdot 12 \cdot 1,2 \cdot 10,11^2 / (2 \cdot 1) = 22,1$ Па. $P_{4\text{г}} = 0,1 \cdot 1,2 \cdot 10,11^2 / 2 = 0$ Па. $P_{6\text{г}} = 0,1 \cdot 1,2 \cdot 10,11^2 / 2 = 6,1$ Па. $P_{8\text{г}} = 0,1 \cdot 1,2 \cdot 10,11^2 / 2 = 6,1$ Па. $P_{\text{ГТ1}} = 22,1 + 0 + 6,1 + 6,1 = 34,3$ Па.

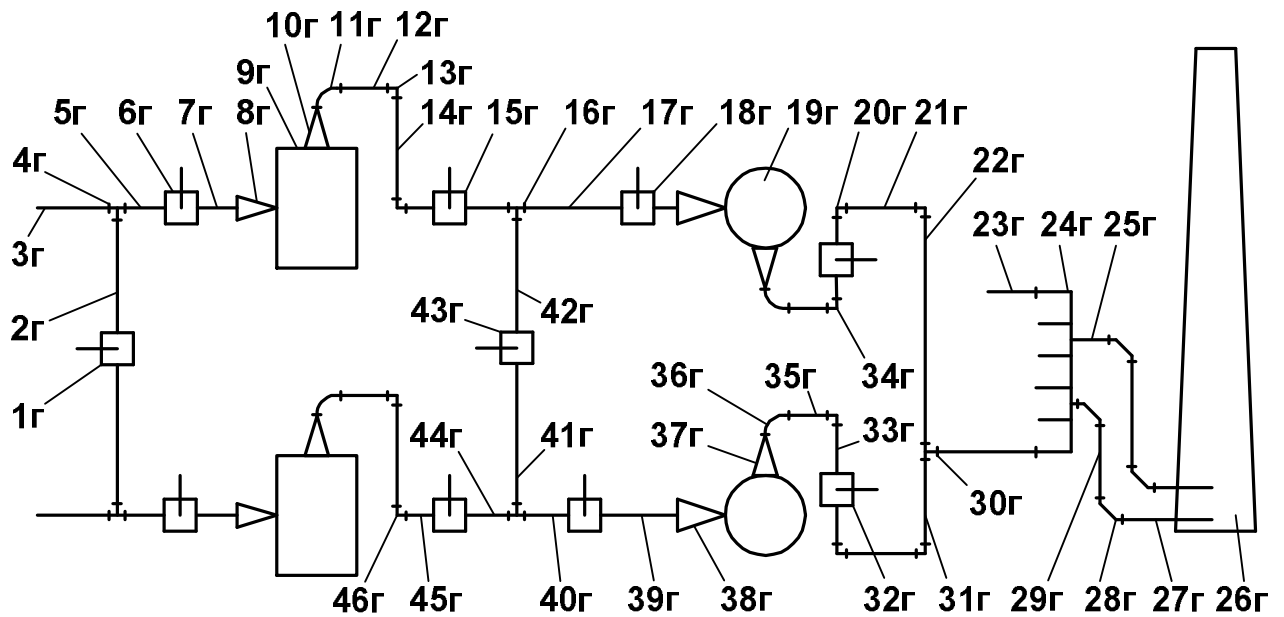


Рис. 1. Схема газового тракта котла

Потери давления в золоуловителе следует определять по формуле

$$P_{\text{зу}} = R_{\text{зу}} \cdot Q^2, \text{ Па} \quad (7)$$

где $R_{\text{зу}}$ – коэффициент гидродинамического сопротивления золоуловителя, кПа/(тыс. м³/ч)².

$$R_{\text{зу}} = P_{\text{зуп}} / Q_{\text{зуп}}^2, \text{ кПа}/(\text{тыс. м}^3/\text{ч})^2 \quad (8)$$

где $P_{\text{зуп}}$ – потери давления в золоуловителе при паспортном расходе дымовых газов, кПа;

$Q_{\text{зуп}}$ – расход дымовых газов через золоуловитель по паспорту завода-изготовителя (каталогу), тыс. м³/ч.

Например, батарейный циклон БЦ-2-7 по паспорту [1, табл. 5.б, с. 63] имеет $Q_{\text{зуп}} = 42,2$ тыс. м³/ч и $P_{\text{зуп}} = 45$ кг/м² = $45 \cdot g / 1000 = 45 \cdot 9,8 / 1000 = 0,44$ кПа; тогда

$R_{3y} = 0,44/42,2^2 = 0,000247$ кПа/(тыс. м³/ч)², а при действительном расходе дымовых газов $Q = 36,4$ тыс. м³/ч получим $R_{3y} = 0,000247 \cdot 36,4^2 = 0,327$ кПа.

Потери давления в тяговой части тракта от золоуловителя до дымососа $R_{ГТ2}$ складываются при последовательном прохождении дымовыми газами следующих элементов тракта: 10Г-11Г-12Г-13Г-14Г-13Г-45Г-15Г-44Г-16Г-17Г-18Г-39Г-38Г. Элементы 12Г, 14Г, 45Г, 44Г, 17Г и 39Г – коробка сечением 1 м² (1×1 м) общей протяженностью 20 м. Элементы 11Г ($R/b = 3$) и два 13Г – отводы сечением 1 м² (1×1 м) с углом поворота 90° длиной 4,7 м и 1,55 м. Элементы 15Г и 18Г – шибер открытый сечением 1 м² (1×1 м) длиной 0,2 м каждый. Элемент 16Г – равнопроходный тройник сечением 1 м² (1×1 м) длиной 1 м, элемент 38Г – конфузор с входным сечением 1×1 м, выходным сечением диаметром 0,84 м и длиной 0,8 м. По результатам предварительного расчета (или с учетом комплектности поставки котла) предусматривается установка дымососа Д-12 [1, рис. 32, с. 127] с параметрами: $Q = 34$ тыс. м³/ч, $P = 2,2$ кПа, $n = 970$ об/мин, $t = 200^\circ\text{C}$. Диаметр всасывающего патрубка 0,84 м; длина и ширина напорного патрубка 0,45 и 0,7 м [1, рис. 59, табл. 10, с. 69]. Поэтому с учетом суммарной длины местных сопротивлений 11Г, 13Г, 13Г, 16Г, 18Г и 38Г 10 м потери давления в коробах на прямых участках составят $P_{12Г} + P_{14Г} + P_{44Г} + P_{17Г} + P_{39Г} = 0,03 \cdot 30 \cdot 1,2 \cdot 10,11^2 / (2 \cdot 1) = 55,2$ Па. $P_{11Г} = 0,16 \cdot 1,2 \cdot 10,11^2 / 2 = 9,8$ Па. $P_{13Г} + P_{13Г} = (1,40 \cdot 1,2 \cdot 10,11^2 / 2) + (1,40 \cdot 1,2 \cdot 10,11^2 / 2) = 171,7$ Па. $P_{15Г} + P_{18Г} = (0,1 \cdot 1,2 \cdot 10,11^2 / 2) + (0,1 \cdot 1,2 \cdot 10,11^2 / 2) = 12,2$ Па. $P_{16Г} = 0$ Па. $P_{38Г} = 0,1 \cdot 1,2 \cdot 10,11^2 / 2 = 6,1$ Па.

$R_{ГТ2} = (P_{12Г} + P_{14Г} + P_{44Г} + P_{17Г} + P_{39Г}) + P_{11Г} + 2 \cdot P_{13Г} + (P_{15Г} + P_{18Г}) + P_{16Г} + P_{38Г} = 55,2 + 9,8 + 171,7 + 12,2 + 0 + 6,1 = 255,0$ Па.

Потери давления в нагнетательной части тракта от дымососа до выхода в атмосферу $R_{ГН}$ будут складываться при последовательном прохождении дымовыми газами следующих элементов: 37Г-36Г-35Г-34Г-33Г-32Г-33Г-20Г-21Г-20Г-22Г-30Г-23Г-24Г-25Г-28Г-29Г-28Г-27Г-26Г. Элемент 37Г – диффузор с входным сечением 0,45×0,7 м, выходным сечением 1 м² (1×1 м) и длиной 1,5 м. Элементы 35Г, 33Г, 21Г, 22Г и 23Г – коробка сечением 1 м² (1×1 м) общей протяженностью 30 м. Элементы 25Г, 29Г и 27Г – коробка сечением 2 м² (2×1 м) общей протяженностью 40 м.

Элемент 32Г – открытый шибер сечением 1 м^2 ($1 \times 1 \text{ м}$) длиной 0,2 м. Элемент 30Г – равнопроходный тройник сечением 1 м^2 ($1 \times 1 \text{ м}$), длиной 1 м. Сечение 1 м^2 ($1 \times 1 \text{ м}$) и угол поворота 90° имеют элементы (отводы) 36Г ($R/b = 4$) длиной 6,3 м и два 20Г длиной 1,5 м каждый. Отводы 34Г и 20Г одинаковые. Элемент 28Г (2шт.) – отвод сечением 2 м^2 ($2 \times 1 \text{ м}$) и длиной 1,5 м. Элемент 24Г – собирающий коллектор (шесть подводов сечением 1 м^2 каждый, два отвода сечением 2 м^2 каждый, с расстоянием между осями крайних подводов 12 м и расстоянием между осями отводов 5 м, сечение собирающей части $1 \cdot 2 = 2 \text{ м}^2$). В номинальном режиме работы районной котельной в коллектор поступают дымовые газы из трех котлов и отводятся в дымовую трубу по двум газоходам. В пиковом режиме работают четыре котла одновременно. Потери давления в прямых коробах сечением 1 м^2 с учетом строительной длины местных сопротивлений (диффузора, четырех отводов, шибера и тройника) $P_{35Г} + P_{33Г} + P_{33Г} + P_{21Г} + P_{22Г} + P_{23Г} = 0,03 \cdot (30 + 1,5 + 6,3 + 1,5 \cdot 3 + 0,2 + 1,0) \cdot 1,2 \cdot 10,11^2 / (2 \cdot 1) = 80,0 \text{ Па}$. $P_{37Г} = 0,35 \cdot 1,2 \cdot 10,11^2 / 2 = 21,4 \text{ Па}$. $P_{36Г} = 0,14 \cdot 1,2 \cdot 10,11^2 / 2 = 8,6 \text{ Па}$. $P_{34Г} + P_{20Г} + P_{20Г} = 3(1,4 \cdot 1,2 \cdot 10,11^2 / 2) = 257,6 \text{ Па}$. $P_{32Г} = 0,1 \cdot 1,2 \cdot 10,11^2 / 2 = 6,1 \text{ Па}$. $P_{30Г} = 1,8 \cdot 1,2 \cdot 10,11^2 / 2 = 110,4 \text{ Па}$.

Приведенная длина коллектора при работе одновременно 3-х котлов и подводе газов к трубе по 2-м коробам составляет 1,85 м. Минимальная приведенная длина коллектора для 4-х котлов в пиковом режиме составляет 1,5 м. Эта длина учитывается при определении потерь давления в прямых коробах сечения 2 м^2 $P_{25Г} + P_{29Г} + P_{27Г} = 0,03(40 + 1,85 + 1,5 \cdot 2) \cdot 1,2 \cdot 10,11^2 / (2 \cdot 1) = 80,0 \text{ Па}$.

В нашем примере дымовая труба цилиндрическая высотой 45 м, диаметром 1,8 м с двухсторонним подводом газоходов по схеме [1, рис. III-49-в]. С учетом потерь с выходной скоростью $P_{26Г} = (0,026 \cdot 45 / 1,8 + 0,25) \cdot 1,2 \cdot 15,73^2 / 2 = 133,6 \text{ Па}$. Потери давления на участке газового тракта от дымососа до атмосферы составят $P_{ГН} = 80,0 + 21,4 + 8,6 + 257,6 + 6,1 + 110,4 + 80,0 + 133,6 = 697,7 \text{ Па}$.

Динамическое давление дымовых газов на входе из трубы в атмосферу составит $P_{ДГ} = 1,2 \cdot 15,73^2 / 2 = 148,5 \text{ Па}$.

Так как потери давления в элементах газового тракта установлены для воздуха при нормальном атмосферном давлении (760 мм рт. ст.), необходимо внести поправки на разницу плотностей дымовых газов и воздуха.

Плотность дымовых газов вычислять по формуле

$$\rho^0 = \frac{1 - 0,01 \cdot A^P + 1,306 \cdot \alpha \cdot V^0}{V_{\Gamma}}, \text{ кг/м}^3 \quad (9)$$

где A^P – зольность рабочего топлива, %;

α – избыток воздуха в дымовых газах (любая величина от топки до дымососа);

V^0 – теоретический расход воздуха, необходимый для сгорания топлива, м³/кг;

V_{Γ} – суммарный объем продуктов горения при принятом избытке воздуха, м³/кг.

Плотность дымовых газов всех энергетических топлив можно определять с меньшим объемом расчетов по формуле

$$\rho^0 = 1,293 \cdot M_{\gamma}, \text{ кг/м}^3 \quad (10)$$

где M_{γ} – относительная плотность дымовых газов, ед.

M_{γ} устанавливается по графику 22 [1] в зависимости от объемной доли водяных паров $r_{\text{H}_2\text{O}}$ в газах, принимаемой из теплового расчета. В нашем примере при $r_{\text{H}_2\text{O}} = 0,25$ по графику 22 $M_{\gamma} = 0,952$, поэтому $\rho^0 = 1,293 \cdot 0,952 = 1,231 \text{ кг/м}^3$.

Для учета запыленности газов определяется массовая концентрация золы в дымовых газах – μ_{MAC} (кг/кг):

$$\mu_{\text{MAC}} = \frac{A^P \cdot \alpha_{\text{УН}}}{100 \cdot \rho_0 \cdot V_{\Gamma \text{ ср}}}, \quad (11)$$

где A^P – зольность топлива, %;

$\alpha_{\text{УН}}$ – доля золы, уносимая продуктами горения из топки, для камерных топок с сухим золоудалением следует принимать 0,95;

ρ_0 – плотность дымовых газов при температуре 0°C и атмосферном давлении 101325 Па (760 мм рт.ст.), кг/м³;

$V_{\Gamma \text{ ср}}$ – объем продуктов горения для среднего избытка воздуха от топки до золоуловителя при 0°C и 760 мм рт.ст. при сжигании 1 кг топлива, м³/кг.

В нашем примере при $A^P = 12\%$; $\alpha_{\text{УН}} = 0,95$; $V_{\Gamma \text{ ср}} = 10 \text{ м}^3/\text{кг}$ поправка на запыленность будет равна $\mu_{\text{MAC}} = 12 \cdot 0,95 / (100 \cdot 1,231 \cdot 10) = 0,0093$.

Поправка на давление дымовых газов в тракте, учитывается величиной среднего эффективного давления – $P_{\text{ЭФ}}$ (Па):

$$P_{\text{ЭФ}} = P_{\text{БАР}} - \frac{\Delta P_{\text{T}}}{2}, \quad (12)$$

где $P_{\text{БАР}}$ – барометрическое давление, учитывающее высоту местности относительно уровня моря, следует принимать по табл. 3, Па;

ΔP_{T} – потери давления в тяговой (всасывающей) части газового тракта от топки до дымососа; Па;

20 – нормативное разрежение в топке для исключения выбросов дымовых газов в помещение котельной, Па (2 мм вод.ст.).

Таблица 3

Среднее барометрическое давление местности
с учетом ее положения над уровнем моря (Δh)

Δh , м	0	500	1000	1500	2000	2500
$P_{\text{БАР}}$, Па	101325	95125	89875	84230	79500	68100
$P_{\text{БАР}}$, мм рт.ст.	760	714	674	632	596	511

В нашем примере при высоте местности над уровнем моря +300 м давление составит $P_{\text{БАР}} = 96613$ Па.

$$\Delta P_{\text{T}} = 20 + P_{\text{ГК}} + P_{\text{ГТ1}} + P_{\text{ЗУ}} + P_{\text{ГТ2}}, \text{ Па} \quad (13)$$

В нашем примере при потерях давления дымовых газов от топки до выхода из котла, равных $P_{\text{ГК}} = 450$ Па получим $\Delta P_{\text{T}} = 20 + 450 + 34,3 + 327 + 255 = 1068,3$ Па. Тогда получим $P_{\text{ЭФ}} = 96613 - 1068,3/2 = 96069,85$ Па.

Суммарное сопротивление газового тракта с учетом поправок на запыленность и давление газов, а также положения местности над уровнем моря при уравновешенной тяге ΔP (Па) следует определять по формуле

$$\Delta P = [\Delta P_{\text{T}}(1 + \mu_{\text{МАС}}) + \Delta P_{\text{Д}}] \frac{\rho_0}{1,293} \cdot \frac{101325}{P_{\text{ЭФ}}}, \quad (14)$$

где $\Delta P_{\text{Д}}$ – потери давления в дутьевой части газового тракта от дымососа до атмосферы, с учетом динамического давления.

$$\Delta P_{\text{Д}} = P_{\text{ГН}} + P_{\text{ГД}}. \quad (15)$$

В нашем примере $\Delta P_d = 697,7 + 148,5 = 846,2$ Па и

$$\Delta P = \frac{[1068,3 \cdot (1 + 0,0093) + 846,2] \cdot 1,231 \cdot 101325}{1,293 \cdot 96069,85} = 2687,8 \text{ Па.}$$

Величину самотяги любого участка газового трата, включая дымовую трубу при искусственной тяге, при давлении на входе в котел не более 1,1 ата вычислять по формуле

$$P_{ст} = h(1,2 - \rho_0 \frac{273}{273 + t_{дср}})g, \text{ Па} \quad (16)$$

где h – расстояние по вертикали между серединами конечного и начального сечений данного участка тракта, м;

$1,2$ – плотность наружного (атмосферного) воздуха при давлении 760 мм рт. ст. и температуре 20°C , кг/м^3 ;

ρ_0 – плотность дымовых газов при давлении 760 мм рт.ст. и температуре 0°C , кг/м^3 ;

$t_{дср}$ – средняя температура дымовых газов на расчетном участке тракта, $^\circ\text{C}$.

Самотяга для дымовой трубы при средней температуре газов в ней 155°C составит

$$P_{ст-26Г} = 45 \cdot [1,2 - 1,231 \cdot \frac{273}{273 + 155}] \cdot 9,81 = 182,9 \text{ Па.}$$

Перепад полных давлений по газовому тракту – $\Delta P_{п}$ (Па) следует определять по формуле

$$\Delta P_{п} = \Delta P - P_{ст}. \quad (17)$$

В нашем примере без учета самотяги на участке от топки до дымовой трубы получим $\Delta P_{п} = 2687,8 - 182,9 = 2504,9$ Па.

Для правильного использования заводских аэродинамических характеристик дымососа, выполненных для конкретной температуры газов, например $+100^\circ\text{C}$, следует скорректировать перепад полных давлений с учетом расчетной температуры газов перед дымососом. Потери давления в газовом тракте, приведенные к номинальной температуре, по паспорту дымососа – $P_{п}$ (Па) следует определять по формуле

$$P_{п} = K_p \cdot \Delta P_{п}, \quad (18)$$

где K_p – переходный коэффициент для согласования потерь давления в газовом тракте с условиями применения дымососа.

$$K_P = \frac{t_p + 273}{t_3 + 273} \cdot \frac{101325}{P_{\text{БАР}}} \cdot \frac{1,293}{\rho_p}, \quad (19)$$

где t_p и ρ_p – расчетная температура и плотность газов перед входом в дымосос, °С и кг/м³;

t_3 – допустимая температура газов для дымососа, указанная в паспорте и на аэродинамической характеристике завода-изготовителя, °С.

В нашем примере при значениях $t_p = 180^\circ\text{C}$, $t_3 = 200^\circ\text{C}$ и $\rho_p = 0,742 \text{ кг/м}^3$ получим

$$K_P = \frac{180+273}{200+273} \cdot \frac{101325}{96613} \cdot \frac{1,293}{0,742} = 1,75.$$

Тогда $P_{\Pi} = 1,75 \cdot 2504,9 = 4383,6 \text{ Па} = 4,38 \text{ кПа}$.

Коэффициент гидродинамического сопротивления газового тракта – R следует определять по формуле

$$R = \frac{P_{\Pi}}{Q^2} \quad (20)$$

где Q – расход дымовых газов через трубу при определении ее сопротивления в номинальном режиме работы котельной.

При определении R следует учитывать размерность шкал аэродинамической характеристики дымососа. Например, характеристики дымососов, представленные в прил. 3, имеют размерности кПа – P и тыс. м³/ч – Q , поэтому $R = 4,38 / (40 \cdot 3,6)^2 = 0,000121$. В результате уравнение характеристики газового тракта примет вид $P_C = 0,000211 Q^2$.

Используя уравнение характеристики газового тракта, расчетом установить значения потерь давления дымовых газов в тракте при работе котельной в пиковом и частичном (летнем) режиме нагружения. Например, если пиковая нагрузка равна 120%, а частичная 40% от номинальной, то потери давления дымовых газов в тракте в этих режимах составят соответственно 6,31 и 0,70 кПа, так как расход топлива на котельной и дымовых газов изменяются пропорционально нагрузке.

Следует выполнить табуляцию уравнения характеристики газового тракта при изменении расхода дымовых газов через трубу в пределах от 0 до $(1,2-1,4)Q_H$ с шагом $(0,1-0,2)Q_H$ и заполнить табл. 4.

Таблица 4

Результаты табуляции уравнения характеристики газового тракта

Q/Q_H	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
Q , тыс. м ³ /ч	32	64	96	128	160	192
P_C , кПа	0,13	0,51	0,79	2,03	3,17	4,56

2.9. Выбор серийного дымососа

Выбор дымососа следует выполнять последовательно в три этапа.

1 этап.

Из каталога по паспортным характеристикам (Q и P) предварительно подбираются несколько моделей дымососов с производительностью и давлением на 5-10% больше, чем требуется для работы котла в номинальном режиме. Рекомендуется производить подбор дымососов по каталогу для наиболее продолжительного режима нагружения котла, как правило, это номинальный режим.

2 этап.

На аэродинамические характеристики каждого выбранного дымососа наносятся точки с координатами Q и P , установленными в гидравлическом расчете газового тракта для номинального, пикового и частичного (летнего) режима нагружения котла и определяются параметры работы дымососа: θ_K , θ_{HA} , n , N и η (где θ_K и θ_{HA} – угол установки лопаток рабочего колеса и направляющего аппарата; n – частота вращения рабочего колеса (колес) вентилятора; N – мощность; η – КПД вентилятора). Рекомендуется для каждого дымососа выполнять графические построения на отдельном листе бумаги формата А4 с заполнением его не менее чем на 80%. При отсутствии действительной индивидуальной характеристики дымососа следует использовать безразмерную характеристику с выполнением предварительных расчетов по стандартной методике [1, 2].

3 этап.

С учетом продолжительности работы котла с пиковой, номинальной и частичной нагрузкой в течение года (отопительного периода) рассчитывается расход электрической энергии. Следует принять тот дымосос, у которого при обеспечении оперативного

перевода с одного режима на другой годовой расход электроэнергии будет минимальным. Число дымососов в установке должно обеспечивать возможность оперативного проведения регламентированных технических осмотров и всех видов ремонтов без остановки работы котла.

Для окончательно выбранного дымососа дополнительно следует рассчитать удельный расход электрической энергии на выработку единицы энергии (теплоты) котлом в каждом режиме нагружения.

2.10. Выбор способа регулирования параметров рабочего режима

Основной способ регулирования производительности дымососа указан в его паспорте и руководстве по эксплуатации. Возможность его эффективного применения гарантируется конструкцией самого дымососа. Стандартная комплектация некоторых моделей дымососов приводом и аппаратурой управления позволяет использовать кроме основного ещё и дополнительный способ регулирования производительности и изменять при необходимости режим нагружения котла в широком диапазоне.

Для осевых дымососов серии ДОД основной способ регулирования предусматривает изменение угла установки лопаток рабочего колеса и спрямляющего аппарата, что требует его остановки и частичной разборки. Тем не менее, это не гарантирует его работу с требуемой производительностью, так как лопатки рабочего колеса могут быть установлены только с фиксированными углами 15, 20, 25, 30, 35, 40 и 45°. Незначительное дросселирование шибером в напорной части тракта позволяет обеспечить выход из котла расчетного количества дымовых газов, но сопровождается увеличением расхода электрической энергии дымососами осевого типа, так как это сопровождается увеличением давления, с которым они работают в этом случае.

Для центробежных дымососов серий Д и ДН основной способ регулирования предусматривает изменение угла установки лопаток направляющего аппарата, что может производиться оперативно без их остановки в течение нескольких минут, с высокой точностью. Дополнительных потерь энергии в этом случае не происходит.

Наиболее рациональным способом регулирования производительности для всех типов дымососов является частотный способ – за счет изменения частоты вращения рабочего колеса. Ступенчатое регулирование может быть реализовано заменой двигателя с большей частотой на меньшую частоту, использованием 2-скоростных двигателей или редуцированием (клиноременная передача). Эти приемы не обеспечивают высокого качества регулирования (производительность всегда больше, чем требуется). Замена двигателя и перевод приводного ремня с одного шкива на другой требует дополнительного времени, что снижает оперативность регулирования.

Более двадцати лет на промышленных установках для регулирования производительности тяги всё чаще применяются тиристорные преобразователи. Отечественная промышленность производит широкий диапазон частотных преобразователей для асинхронных двигателей малой (до 100 кВт), средней (до 500 кВт) и большой мощности (более 500 кВт). Использование этих преобразователей обеспечивает плавное регулирование частоты вращения рабочего колеса, а, следовательно, и производительности дымососа с большой точностью и минимальными потерями энергии.

2.11. Параметры работы дымососа

На аэродинамические характеристики выбранного дымососа нанести характеристику газового тракта и определить параметры рабочего режима тяговой установки для номинальной, пиковой и частичной (летней) нагрузки котла (рис. 2).

Например, для дымососа Д-20×2, работающего с частотой 730 об/мин на газовый тракт с характеристикой $P = 0,000045Q^2$, см. рис. 2, установлены следующие параметры:

– пиковый режим:

$$\begin{aligned} Q &= 280 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}; & P &= 3,53 \text{ кПа}; & N &= 442 \text{ кВт}; \\ \eta &= 0,665; & \alpha &= 25^\circ; \end{aligned}$$

– номинальный режим:

$$\begin{aligned} Q &= 240 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}; & P &= 2,59 \text{ кПа}; & N &= 378 \text{ кВт}; \\ \eta &= 0,555; & \alpha &= 42^\circ; \end{aligned}$$

– частичный режим:

$$\begin{aligned} Q &= 200 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}; & P &= 1,75 \text{ кПа}; & N &= 316 \text{ кВт}; \\ \eta &= 0,380; & \alpha &= 60^\circ. \end{aligned}$$

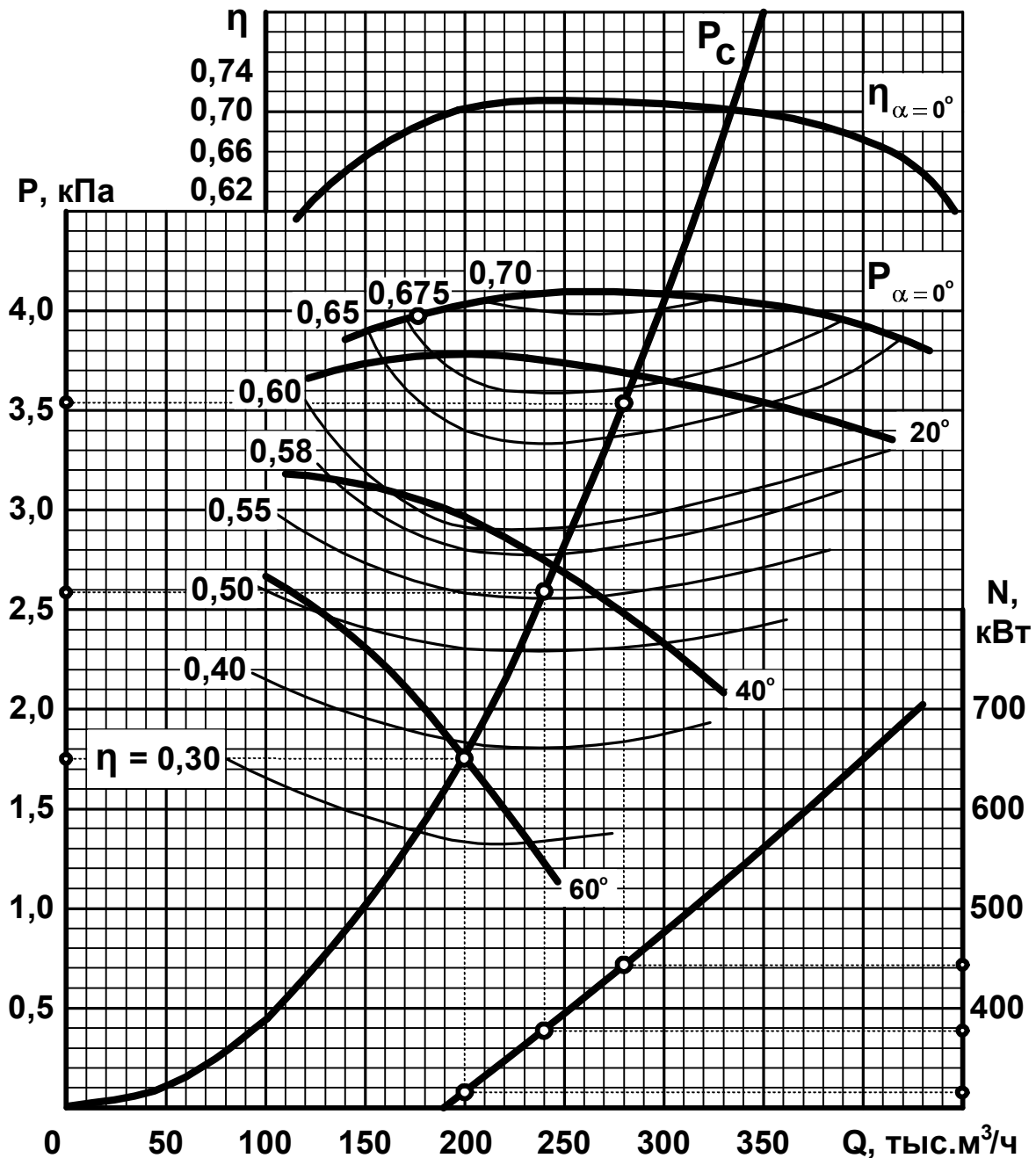


Рис. 2. Характеристики Д-20×2 и газового тракта (P_c)

2.12. Техничко-экономические показатели работы дымососной установки

Техничко-экономические показатели работы установки являются важной составляющей проекта, так как позволяют оперативно решать вопросы планирования ее эксплуатации. Например, на ближайший год с учетом изменения тепловой нагрузки и ее длительности они позволяют определить расход электроэнергии, охлаждающей воды, выбросы в атмосферу и другие характеристики. Для примера оформления см. табл. 5.

Таблица 5

Технико-экономические показатели работы дутьевой установки

№	Наименование параметра	Ед. изм.	Величина
1	Дымосос: тип модель производитель	- - -	центробеж- ный Д-20×2 Россия
2	Число вентиляторов в установке (на котел): рабочих, резервных	ед. ед.	1 1
3	Номинальный режим: производительность, давление, КПД, частота вращения, мощность, угол $\theta_{НА}$	тыс. м ³ /с кПа % об/мин кВт градус	240 2,59 55,5 730 378 42
4	Пиковый режим: производительность, давление, КПД, частота вращения, мощность, угол $\theta_{НА}$	тыс. м ³ /с кПа % об/мин кВт градус	280 3,53 66,5 730 442 25
5	Летний режим: производительность, давление, КПД, частота вращения, мощность, угол $\theta_{НА}$	тыс. м ³ /с кПа % об/мин кВт градус	200 1,75 38,0 730 316 60
6	Удельный расход электрической энергии на подачу 1 м ³ воздуха при нагрузке: номинальной, пиковой, летней	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{м}^3}$	0,000465 0,000466 0,000467
7	Удельный расход электрической энергии на производство 1 Гкал теплоты при нагрузке: номинальной, пиковой, летней	$\frac{\text{кВт} \cdot \text{ч}}{\text{Гкал}}$	20,11 23,51 16,81

Список параметров в табл. 5 можно расширить с учетом других видов энергии, производимых на этой котельной установке, например, расход электрической энергии на 1 т отпускаемого

пара, расход электрической энергии на 1 м³ отпускаемой горячей воды и другие.

Удельный расход электроэнергии на подачу 1 м³ дымовых газов – w_{1M^3} следует определять по формуле

$$w_{1M^3} = \frac{N \cdot 1ч}{3600 \cdot Q \cdot \eta_{ДВ}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^3 \quad (21)$$

где N – мощность на валу дымососа, кВт;

Q – производительность дымососа, м³/с;

$\eta_{ДВ}$ – КПД приводного двигателя дымососа, ед.

Мощность на валу дымососа определяется по его аэродинамической характеристике $N(Q)$ или расчетом по формуле

$$N = \frac{P \cdot Q}{\eta_{Д}}, \text{ кВт} \quad (22)$$

где P и Q – давление и производительность, с которыми работает дымосос в данном режиме, кПа и м³/с;

$\eta_{Д}$ – КПД дымососа в данном режиме, ед.

Удельный расход электрической энергии на производство котельным агрегатом 1 Гкал теплоты – $w_{1Гкал}$ следует определять по формуле

$$w_{1Гкал} = \frac{N}{Q_T \cdot \eta_{ДВ}}, \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{Гкал} \quad (22)$$

где Q_T – часовая выработка теплоты котельным агрегатом, Гкал/ч.

Для нашего примера смотри показатели в табл. 5 при $\eta_{ДВ} = 0,94$ и работе котельного агрегата в номинальном режиме с $Q_T = 20$ Гкал/ч $w_{1M^3} = 378 \cdot 1 / (3600 \cdot 240 \cdot 0,94) = 0,000465$ кВт·ч/м³ и $w_{1Гкал} = 378 / (20 \cdot 0,94) = 20,11$ кВт·ч/Гкал.

3. ДЫМОСОС

3.1. Техническая (паспортная) характеристика

В качестве примера приведена техническая характеристика вентилятора ДОД-28,5.

1	Тип	осевой
2	Модель	ДОД-28,5
3	Аэродинамическая схема ЦАГИ	К-84
4	Число рабочих колес (ступеней)	2
5	Диаметр рабочего колеса, мм	2850

6	Подача, м ³ /с (тыс. м ³ /ч):	
	номинальная,	161 (580)
	в пределах рабочей зоны	118-243 (425-875)
7	Статическое давление, кПа	
	номинальное,	3,80
	в пределах рабочей зоны	1,40-5,35
8	Максимальный статический КПД, %	82
9	Основной способ регулирования подачи	изменением угла установки лопаток рабочих колес
10	Диапазон регулирования угла установки лопаток колес, градус	15-45
11	Шаг изменения угла установки лопаток рабочих колес, градус	5
12	Экономическая глубина регулирования по давлению	0,75
13	Частота вращения ротора, 1/с (об/мин)	10 (600)
14	Удельная масса, кг/кВт	24,4
15	Удельная площадь, м ² /кВт	1,25
16	Масса без электрооборудования, т	29,3
17	Приводной двигатель:	
	тип,	синхронный
	модель,	СДС-15-49-10
	мощность, кВт	1250
	частота вращения, 1/с (об/мин)	10 (600)
	напряжение, кВ	6
18	Производитель	Россия, Барнаул, БКЗ

Вспомогательное оборудование состоит из двух переключателей потока (ляд), двери диффузора и трех лебедок ЛКУ-1-2М.

В комплект поставки входят унифицированный комплект аппаратуры автоматизации, комплект аппаратуры контроля подачи и давления вентилятора, запасные части (лопатки, подшипники, вала ротора) инструмент и приспособления.

Вспомогательное оборудование (ляды, лебедки) поставляются потребителю по отдельному заказу.

Дымосос может устанавливаться на открытом воздухе в средней полосе России и в южных регионах.

3.2. Устройство дымососа

Устройство дымососа приведено на рис. 3. Осевой двухступенчатый дымосос модели ДОД-28,5 состоит из двух рабочих колес, коренного и трансмиссионного валов, передней радиальной и задней радиально-упорной подшипниковых опор, двух соединительных муфт, коллектора, переднего обтекателя (кока), цилиндрического секционного кожуха, переднего и заднего спрямляющего аппарата с приводом, диффузора.

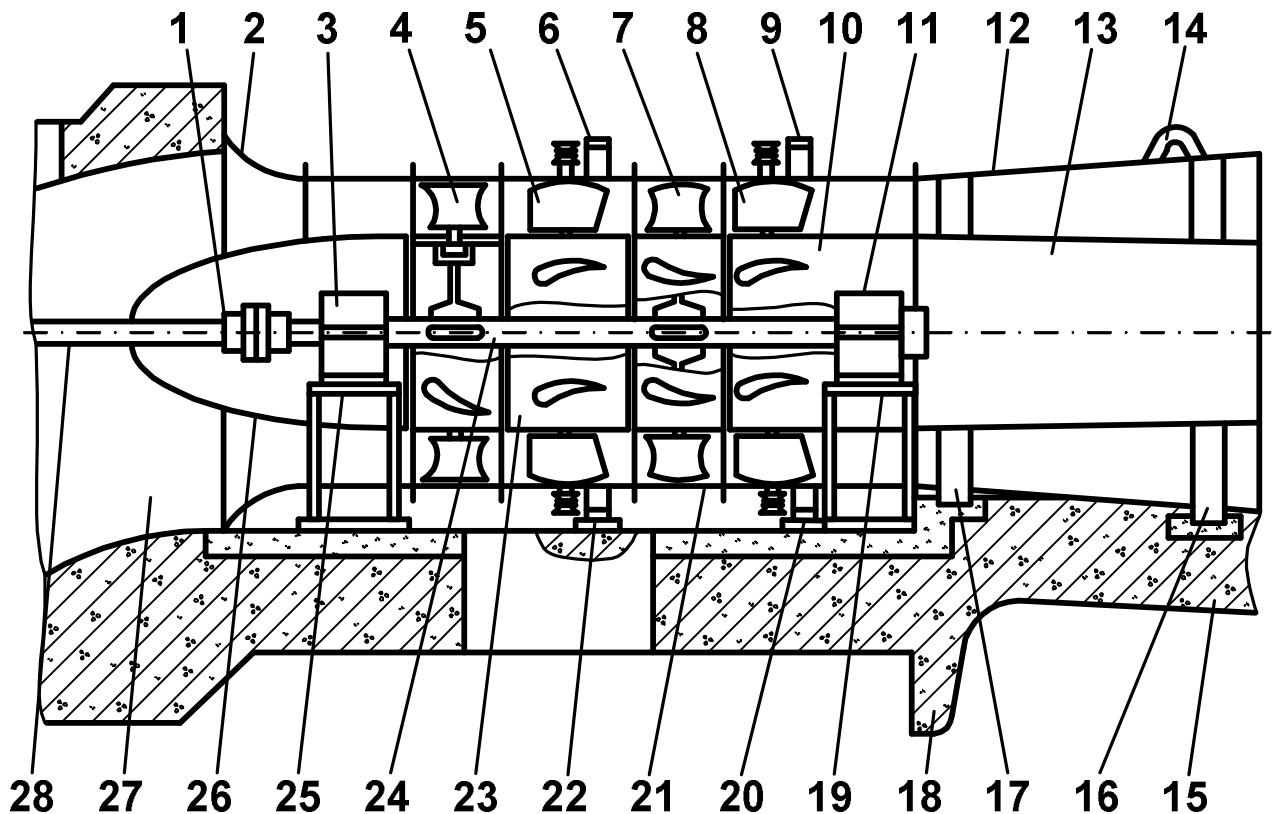


Рис. 3. Продольное сечение вентилятора ДОД-28,5:

1 – муфта; 2 – коллектор; 3 и 11 – передняя и задняя подшипниковая опора; 4 и 7 – рабочее колесо 1-й и 2-й ступени; 5 и 8 – передний и задний спрямляющий аппарат; 6 и 9 – механизм привода переднего и заднего спрямляющего аппарата; 10 и 23 – внутренняя обечайка заднего и переднего спрямляющего аппарата; 12 – диффузор; 13 – задний обтекатель; 14 – проушина диффузора; 15 – фундамент; 16 и 17 – задняя и передняя опора диффузора; 18 – зуб фундамента; 19 и 25 – стульчик задней и передней подшипниковой опоры; 20 и 22 – опора механизма привода заднего и переднего спрямляющего аппарата; 21 – кожух; 24 и 28 – коренной и трансмиссионный вал; 26 – передний обтекатель (кок); 27 – подводящий вентиляционный канал

Дымосос монтируется на железобетонной фундаментной плите, которая снизу имеет зуб, воспринимающий осевую силу.

На рис. 3 не показаны двигатель, тормоз, датчик скорости, маслостанция, переключатели потока, которые являются важными элементами дымососной установки.

Передний обтекатель (кок) и коллектор, являются элементами подвода и служат для плавного входа воздушного потока на лопасти 1-го колеса. Кок и коллектор сварной конструкции из листовой и сортовой стали. Они имеют разъем в горизонтальной плоскости по оси вентилятора. По заказу потребителя дымосос может комплектоваться подводящим карманом, как центробежный вентилятор, что упрощает компоновку привода.

Корпус (кожух) дымососа, имеющий в сборе форму цилиндра, выполнен сварным из листовой стали и состоит из четырех секций, соединенных между собой продольными фланцами и болтами с гайками. Нижняя секция имеет опорные стойки под подшипниковые опоры и основание в виде лап для установки и крепления на фундаменте с помощью фундаментных болтов. В каждой секции встроены поворотные лопасти переднего и заднего спрямляющего аппарата, причем в боковых секциях по четыре лопасти, а в нижней и верхней – по три. В корпусе имеются люки для осмотра, съема и поворота лопастей рабочих колес. Зазор между концами лопастей рабочих колес и внутренней поверхностью корпуса должен находиться в пределах 0,7-1,5% от длины лопастей.

3.3. Эксплуатация дымососа

3.3.1. Подготовка к включению дымососа

Перед включением вентилятора в работу следует выполнить следующие операции:

- осмотреть фундамент, обращая внимание на наличие трещин, обнаженной арматуры, отслоение бетона от элементов рамы, кожуха, коллектора и диффузора;
- осмотреть и простучать сварные швы на кожухе, коллекторе, диффузоре; при обнаружении трещин швы заварить;
- проверить все болтовые соединения; особенно тщательно проверить болты, соединяющие кожух с рамой, горизонтальные фланцы половин кожуха, кожух с коллектором и переходным

- патрубком, верхнюю и нижнюю части обтекателя; болты с сорванной резьбой заменить;
- проверить затяжку фундаментных болтов и болтов, крепящих раму кожуха к фундаменту;
 - проверить состояние уплотнительных прокладок по всем фланцевым соединениям, кожуха, диффузора, обтекателя, коллектора;
 - проверить состояние уплотнения в месте прохода трансмиссионного вала через подводящий короб, при необходимости подтянуть сальник и добавить смазки;
 - проверить возможность плавного поворота лопаток направляющего и спрямляющего аппарата от ручного привода не менее 5 раз; углы установки всех лопаток каждого аппарата должны быть одинаковыми; отклонение углов установки отдельных лопаток не должны превышать $\pm 3^\circ$; свободный поворот лопатки за счет люфта не более 2° ;
 - проверить правильность срабатывания концевых датчиков в рабочем диапазоне их изменения не менее 4 раз, при необходимости настроить;
 - проверить крепление маслостанции к фундаменту, плотность соединений маслопроводов, арматуры и насосов; соединения, в которых обнаружена течь, подтянуть;
 - проверить уровень масла в баке по указателю, при необходимости долить масло, подняв уровень выше минимального;
 - включить насос проверить подачу масла в подшипники и реле контроля осевого смещения ротора, исправность датчиков движения масла и манометров;
 - проверить исправность работы системы охлаждения смазки, расход охлаждающего тела (воздух, вода) и его давление – в теплое время года;
 - проверить исправность работы системы подогрева смазки, расход греющего тела (вода) и его давление – в холодное время года; температура подогрева масла не должна быть ниже $20-25^\circ\text{C}$;
 - осмотреть соединительную зубчатую муфту между трансмиссионным валом и двигателем – ее перекося и течь масла недопустимы; допускается осевое смещение наружной втулки вдоль оси в допустимых пределах;

- выполнить внешний осмотр тормоза, проверить состояние колодок, биение тормозного шкива не более 0,2 мм; зазор между колодкой и тормозным шкивом должен быть равномерным, а его величина в пределах 0,5-3,0 мм; выполнить включение и выключение привода тормоза подряд 3 раза; проверить работу блокировки пуска вентилятора из заторможенного состояния;
- проверить наличие заземления и исправность электрической системы вентилятора.

3.3.2. Пробный запуск

Пробный запуск дымососа производят после его осмотра и проверки исправности его систем в соответствии с п. 3.3.1. При выполнении пробного запуска следует выполнить операции:

- за 5 минут до пуска запустить маслосистему дымососа и прогреть при необходимости масло;
- закрыть переключатель потока (ляда, шибер) в подводящем канале;
- нажать кнопку «ПУСК» на ручном пульте управления дымососа или кликнуть кнопку «ПУСК» на мониторе компьютера системы управления, или активировать пуск клавишей «Enter»;
- по истечении 1-2 минут нажать кнопку «СТОП», открыть люки и проверить отсутствие задевания вращающихся частей о неподвижные;
- если пробный запуск производится после ремонта дымососа, то продолжительность 1-го пуска – 10 минут, 2-го – 1 час, 3-го – 72 часа (обкатка); допускается после первого и второго запуска иметь паузы по 0,5 часа для охлаждения обмоток двигателя; после каждого запуска перед остановкой вентилятора температура масла на сливе из подшипников не должна быть более 60°C;
- если при пробном запуске дымососа обнаруживаются какие-либо неисправности, немедленно остановить, устранить дефекты и произвести пробный запуск; при отсутствии дефектов во время пробного запуска дымосос можно запускать на длительную эксплуатацию.

3.3.3. Запуск дымососа на длительную работу

Перед запуском дымососа на длительную работу необходимо выполнить:

- операции, перечисленные в п. 3.3.1;
- за 5 минут до пуска запустить маслосистему дымососа;
- закрыть переключатель потока (ляда, шибер) в подводящем канале;
- нажать кнопку «ПУСК» на ручном пульте управления дымососа или кликнуть кнопку «ПУСК» на мониторе компьютера системы управления, или активировать пуск клавишей «Enter»;
- по истечении 1-2 минут выполнить визуальный контроль показаний всех контролирующих приборов дымососной установки (напряжение и ток питания двигателя, частота вращения, производительность и давление дымососа, давление в системе смазки, температура подшипников, температура масла до и после охлаждения, давление и расход охлаждающей воды, температура воды до и после нагрева) – все контролируемые параметры должны находиться в установленных пределах (на приборах шкалы в этих диапазонах окрашиваются в зеленый или голубой цвет).

3.3.4. Работа дымососа в длительном режиме

Через каждые 2 часа работы дымососа, но не менее двух раз в смену машинист установки или дежурный слесарь должен выполнять визуальный контроль показаний всех контролирующих приборов вентиляторной установки с записью в журнал. На автоматизированных установках сканирование контролируемых параметров и запись их в журнал (в базу) производится автономно с требуемой частотой, но не реже 1 раза за 2 часа.

4. УСТРОЙСТВО ДЫМОСОСНОЙ СТАНЦИИ

Дутьевые вентиляторы котельных установок с их вспомогательным оборудованием можно размещать в том же помещении (цехе), где установлены котлы или в пристройке к основному цеху, а в регионах с мягким климатом – на открытой площадке рядом с основным цехом. В России в регионах восточней Урала, а в западной части северней 60-й широты расположение вентиляторов на открытой площадке не рекомендуется.

Российские производители вентиляторов с мощностью привода более 200-250 кВт в своих каталогах приводят компоновку станций на 2 агрегата (рабочий и резервный) с минимальной

площадью, но достаточной для установки основного и вспомогательного оборудования с соблюдением нормативов [5, 6].

Число вентиляторов на котел может быть больше двух, например, 3 (2 – рабочие, 1 – резервный) или 4 (3 – рабочие, 1 – резервный). Увеличение числа одновременно работающих вентиляторов на один котел позволяет уменьшить их единичную производительность и использовать более быстроходные с меньшими габаритами и массой модели.

На энергетических предприятиях с котлами единичной мощности до 30 МВт, а в отдельных случаях и больше, дутьевые вентиляторы и дымососы с их вспомогательным оборудованием располагаются по блочной схеме на минимальном удалении от котла, с которым они работают и составляют с ним энергетический блок. Дутьевые вентиляторы следует устанавливать со стороны воздухоподогревателя котла.

Вентиляторы могут быть установлены как на нулевой отметке, так и выше (условно на втором этаже).

Расстановка технологического оборудования в котельном цехе (в котельной) должна быть такой, что дутьевое и тяговое оборудование располагалось вдоль длинной стены со стороны дымовой трубы.

К каждому вентилятору должен быть обеспечен свободный подход со всех сторон за счет технологических зазоров 1-2 м: для прохода не менее 1 м, транспортные – не менее 2 м [6, 7].

К каждому вентилятору должен быть доступ сверху для выполнения грузоподъемных операций цеховым мостовым краном и транспортирования краном вентилятора в сборе или отдельных его узлов через весь цех на монтажную площадку. В противном случае должен быть обеспечен свободный подъезд автокрана (электрокар).

Прокладка воздухопроводов должна обеспечивать минимальные потери статического давления воздуха в тракте и не исключать возможность проведения оперативного технического обслуживания и ремонта всех его узлов и элементов.

Необходимая площадь для установки вентилятора и его вспомогательного оборудования может быть определена с учетом мощности приводного двигателя из расчета $1-2 \text{ м}^2/\text{кВт}$, большие значения следует принимать для осевых вентиляторов с диаметром рабочего колеса (колес) 4-5 м.

В пределах помещения котельного цеха или пристройки к нему, где размещаются все рабочие и резервные вентиляторы, должна быть монтажная площадка.

Площадь монтажной площадки должна быть достаточной для размещения на ней вентилятора с приводом и соблюдения технологических зазоров 1-2 м.

Монтажная площадка должна располагаться со стороны ворот, через которые производится доставка оборудования в цех.

Монтажная площадка должна быть зоной обслуживания мостового крана цеха.

Несомненным преимуществом установки вентиляторного (дутьевого) оборудования на открытых площадках является резкое сокращение капитальных затрат в строительной части проекта, сокращение сроков самого строительства. Но даже в южных регионах России бывают периоды продолжительностью в 5-10 недель каждый год, когда температура воздуха круглые сутки остается отрицательной, а это приводит к замерзанию смазки в подшипниковых опорах вентиляторов и двигателей, обмерзанию переключателей потока и других узлов и элементов установки.

Для обеспечения необходимого уровня надежности работы вентиляторной (дутьевой) установки требуется более высокий уровень защиты электрического оборудования, дополнительные мероприятия по защите подшипников и смазки от замерзания.

При размещении оборудования на открытых площадках следует избегать прямого попадания лучей солнца и осадков на электродвигатель, силовые кабели, подшипниковые опоры.

Размещение вентиляторов и вспомогательного оборудования дутьевой установки на открытых площадках должно производиться с выполнением требований приведенных выше.

5. ОФОРМЛЕНИЕ ПОЯСНИТЕЛЬНОЙ ЗАПИСКИ И ГРАФИЧЕСКОЙ ЧАСТИ РАБОТЫ

Пояснительная записка к КР начинается с титульного листа, пример оформления, которого приведен на рис. 4.

Титульный лист ПЗ курсовой работы рекомендуется выполнять из плотного белого ватмана, что позволяет увеличить срок службы документа и придать ему опрятный вид.

<p>МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ</p> <p>Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования</p> <p>«КУЗБАССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»</p> <p>Кафедра стационарных и транспортных машин</p> <p>РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА</p> <p>к курсовой работе по дисциплине «Тепловые двигатели и нагнетатели» на тему: «Расчет газового тракта котла ТП 87-1»</p> <p>Выполнил студент гр. ТЭ-081 (подпись и дата) Тихонов А.А.</p> <p>Руководитель работы доцент Абрамов А.П.</p> <p>Кемерово 2011</p>

Рис. 4. Титульный лист пояснительной записки КР

Материал курсовой работы в пояснительной записке следует располагать в следующем порядке:

- титульный лист;

- задание на курсовую работу;
- содержание;
- введение;
- 1 раздел «Расчет газового тракта и выбор дымососа»;
- 2 раздел «Дымосос и дымососная станция»;
- список литературы и источников информации.

Во введении следует привести информацию (с обязательными ссылками на источники), которая подтверждает актуальность выполнения аэродинамического расчета воздушного тракта и перспективные пути повышения эффективности работы энергетического котла применительно к условиям, рассматриваемым в проекте.

Ссылка на источник информации приводится в квадратных скобках с указанием номера из списка литературы, использованного при выполнении КР, например, [1], [2] и т.д.

Каждый раздел следует начинать с нового листа, на котором выполняется основная надпись по ГОСТ 2.104-68. В пределах каждого раздела следует материал структурировать на отдельные параграфы, а при необходимости – подпараграфы.

Рисунки и таблицы в пределах каждого раздела должны иметь свою нумерацию, например, рисунок 1 в разделе 1 – рис. 1.1; рисунок 3 в разделе 2 – рис. 2.3.

Формулы, по которым ведется расчет, должны записываться в отдельной строке по центру с выделением жирным шрифтом. Размер шрифта может быть увеличен на 2 пункта по сравнению с текстом. Каждая новая формула должна нумероваться на правом краю строки в круглых скобках и иметь расшифровку символов и коэффициентов. В конце формулы ставится запятая, а в начале новой строки записывается слово «где» и далее символ с расшифровкой и размерностью. Расшифровка каждого последующего символа производится с новой строки. Символы, повторяющиеся в других формулах, повторно не расшифровываются. В расшифровке допускается незначительный по объему комментарий с указанием допустимого диапазона принимаемой величины в соответствии с нормативами (с обязательной ссылкой на документ).

Графическую часть курсовой работы следует выполнять на листе ватмана формата A1 (594 × 841 мм) черным карандашом (чернилами, тушью). Рекомендуются для выполнения листа использовать графический редактор AutoCAD. Пример выполнения листа графической части КР приведен на рис. 5.

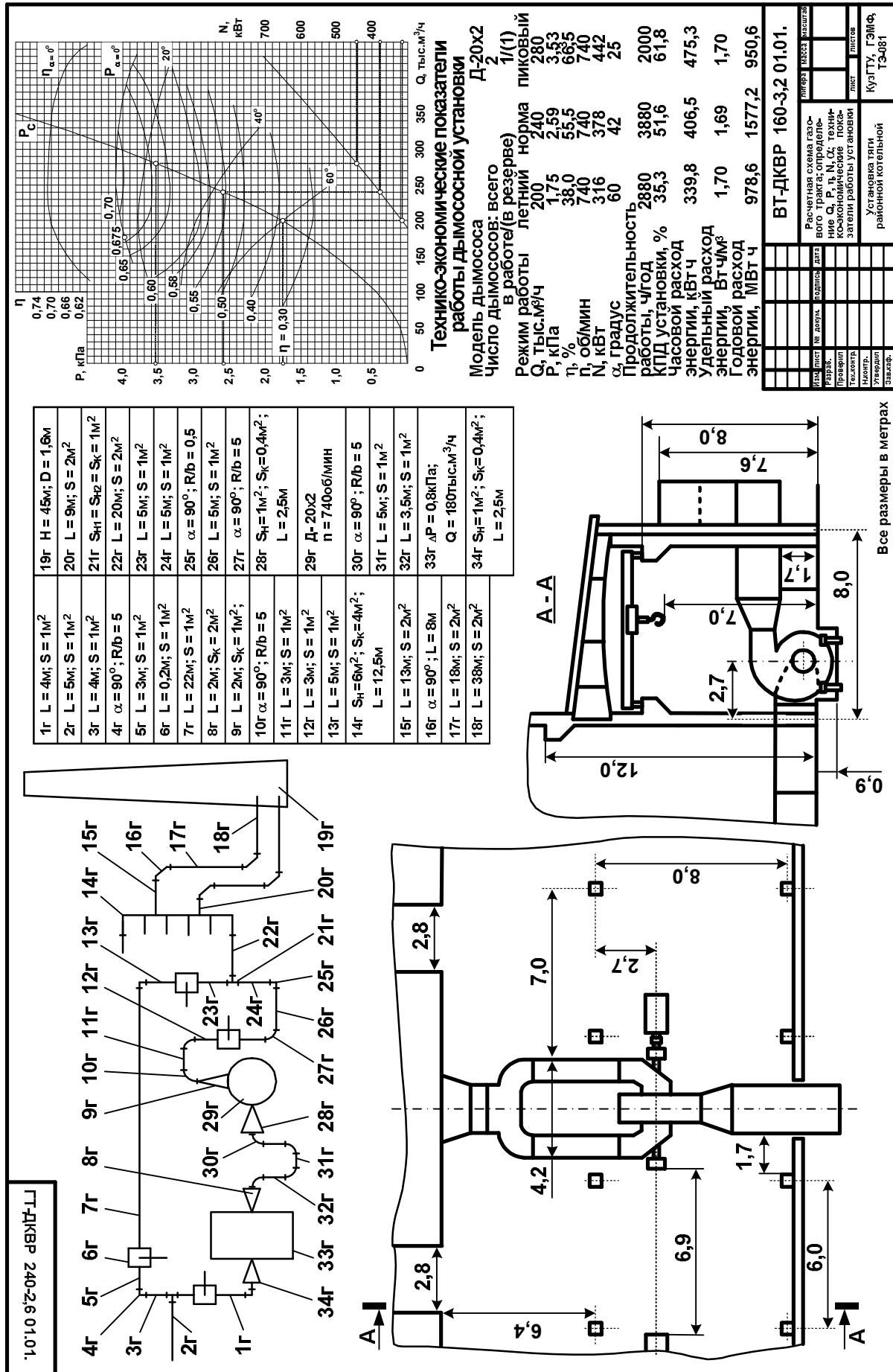


Рис. 5. Пример выполнения графической части КР

В верхнем левом углу листа следует поместить расчетную линейную схему газового тракта с указанием номеров его элементов. Рядом со схемой привести таблицу с номерами элементов и их геометрическими характеристиками.

В верхнем правом углу листа (над штампом) следует поместить аэродинамические характеристики дымососа для стандартных частот вращения его ротора и характеристику газового тракта $P_c(Q)$. С учетом выбранного способа регулирования производительности дымососной установки (тяги), на графиках отметить рабочие точки для пикового, нормального и пониженного (летнего) режима эксплуатации котла.

Над штампом листа следует поместить таблицу с технико-экономическими показателями работы дымососной (тяговой) установки для пикового, нормального и пониженного (летнего) режима эксплуатации.

В нижней части листа следует поместить два вида вентиляторной станции – план (вид сверху) и профиль (вид сбоку). Выполнение этих видов следует производить, соблюдая строго выбранный стандартный масштаб. По ГОСТ 2.302-68 допускаются следующие масштабы уменьшения: 1:2; 1:2,5; 1:5; 1:10; 1:15; 1:20; 1:25; 1:40; 1:50; 1:75; 1:100 и т.д.

На плане и профиле следует позициями 1, 2, 3 и т.д. отметить основное и вспомогательное оборудование дымососной установки и оборудование расположенное в непосредственной близости (попавшее в поле чертежа).

Размеры на видах следует показывать все в м или в мм. Размеры должны дать представление о габаритах оборудования, о месте его установки в цехе, о наличии необходимых технологических зазоров.

При наличии свободного места в нижней части листа можно поместить экспликацию оборудования дымососной (тяговой) установки или той части котельного цеха, которая попала на план и профиль.

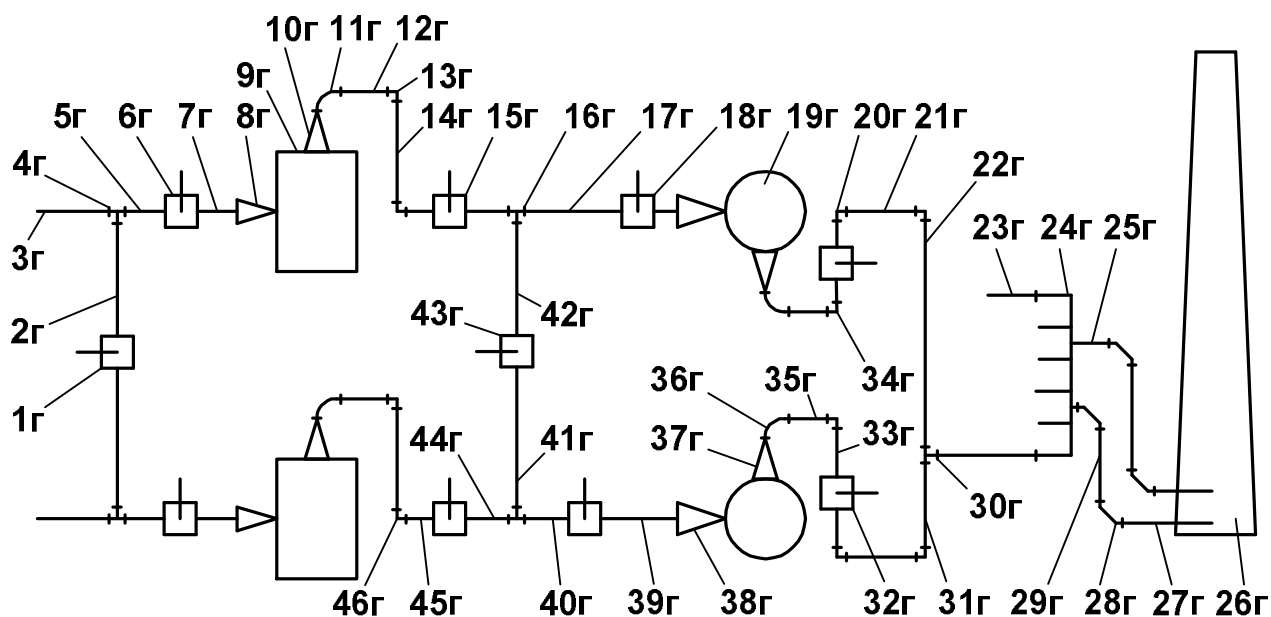
В правом нижнем углу листа (в штампе) помещают основную надпись чертежа согласно ГОСТ 2.104-2006.

В верхнем правом углу листа в рамке с размерами 70 × 14 мм записывается обозначение чертежа, перевернутое сверху вниз.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ И ИСТОЧНИКОВ ИНФОРМАЦИИ

1. Аэродинамический расчет котельных установок (нормативный метод) / под ред. С. И. Мочана. – 3-е изд. – Л., Энергия, 1977. – 256 с.
2. Справочник проектировщика. Вентиляция и кондиционирование воздуха / под общ. ред. И. Г. Староверова. – М.: Стройиздат, 1978. – 514 с.
3. Тепловые и атомные электрические станции: справочник: кн. 3 / под общ. ред. В. А. Григорьева, В. М. Зорина. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.
4. Вентиляторы главного и местного проветривания. Отраслевой каталог 20-90-05. – М.: Министерство тяжелого машиностроения, 1990. – 62 с.
5. Нормы технологического проектирования тепловых электрических станций. ВНТП-81. – М.: МОТЭП, 1981. – 122 с.
6. Сборник правил и руководящих материалов по котлонадзору. – М.: Недра, 1977. – 480 с.
7. Энергетическое оборудование для тепловых электростанций и промышленной энергетики. Номенклатурный каталог 12-92-03 ч. 1. – М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1992. – 180 с.
8. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей. РД34.20.501-95. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 287 с.
9. Дымососы и вентиляторы. Каталог II – 79. – М.: НИИЭИинформэнергомаш, 1980. – 224 с.
10. Роддатис, К. Ф. Справочник по котельным установкам малой производительности. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 487 с.
11. Рихтер, Л. А. Вспомогательное оборудование ТЭС / Л. А. Рихтер, Д. П. Елизаров, В. М. Лавыгин. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 215 с.
12. Ящура, А. И. Система технического обслуживания и ремонта энергетического оборудования. Справочник. – М.: НЦ ЭНАС, 2005. – 504 с.
13. www.bikz.ru – сайт Бийского котельного завода.
14. www.bkzn.ru – сайт Барнаульского котельного завода.
15. www.tkz.taganrog.ru – сайт Таганрогского котельного завода «Красный котельщик».
16. www.izhkotel.ru – сайт Ижевского котельного завода.
17. www.kotel.ru/dorogobuzh – сайт Дорогобужского котельного завода.
18. www.ziosab.ru – официальный сайт Подольского котлозавода.
19. www.zenit-sib – сайт ООО НТК «Зенит» г. Новосибирск.
20. www.ufaventvash – сайт завода «Уфавентмаш» г. Уфа.
21. www.ventilator.spb – сайт завода «Вентилятор» г. Санкт-Петербург.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Схемы газового тракта котлов и варианты исходных данных
Г46

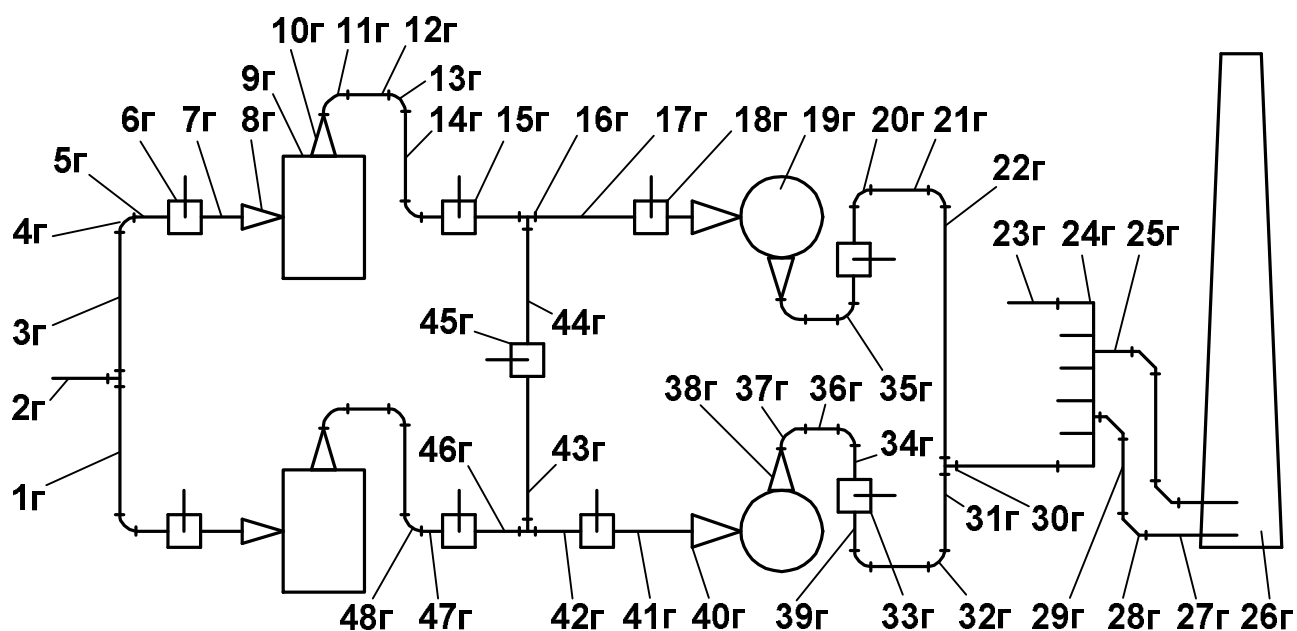
Вариант 46-1

1г	2г	3г	4г	5г	6г	7г	8г
	L = 8 м	L = 8 м	$S_H/S_K = 1$	L = 4 м		L = 4 м	$S_H/S_K = 3$
9г	10г	11г	12г	13г	14г	15г	16г
	$S_K/S_H = 3$	R/b = 3	L = 4,5 м	L/b = 2,5	L = 4 м		$S_H/S_K = 1$
17г	18г	19г	20г	21г	22г	23г	24г
L = 2 м			L/b = 2,0	L = 2 м	L = 10 м	L = 30 м	
25г	26г	27г	28г	29г	30г	31г	32г
L = 5 м		L = 12 м	L = 5 м	L = 25 м	$S_H/S_K = 1$	L = 6 м	
33г	34г	35г	36г	37г	38г	39г	40г
L = 2 м	L/b = 2,0	L = 4 м	R/b = 3	$S_K/S_H = 2,5$	$S_H/S_K = 3$	L = 5 м	L = 2,5 м
41г	42г	43г	44г	45г	46г		
L = 8 м	L = 8 м		L = 2,5 м	L = 2,5 м	L = 12 м		

Вариант 46-2

1г	2г	3г	4г	5г	6г	7г	8г
	L = 8 м	L = 8 м	$S_H/S_K = 1$	L = 4 м		L = 4 м	$S_H/S_K = 3$
9г	10г	11г	12г	13г	14г	15г	16г
	$S_K/S_H = 3$	R/b = 3	L = 4,5 м	L/b = 2,5	L = 4 м		$S_H/S_K = 1$
17г	18г	19г	20г	21г	22г	23г	24г
L = 2 м			L/b = 2,0	L = 2 м	L = 10 м	L = 30 м	
25г	26г	27г	28г	29г	30г	31г	32г
L = 5 м		L = 12 м	L = 5 м	L = 25 м	$S_H/S_K = 1$	L = 6 м	
33г	34г	35г	36г	37г	38г	39г	40г
L = 2 м	L/b = 2,0	L = 4 м	R/b = 3	$S_K/S_H = 2,5$	$S_H/S_K = 3$	L = 5 м	L = 2,5 м
41г	42г	43г	44г	45г	46г		
L = 8 м	L = 8 м		L = 2,5 м	L = 2,5 м	L = 12 м		

Г48



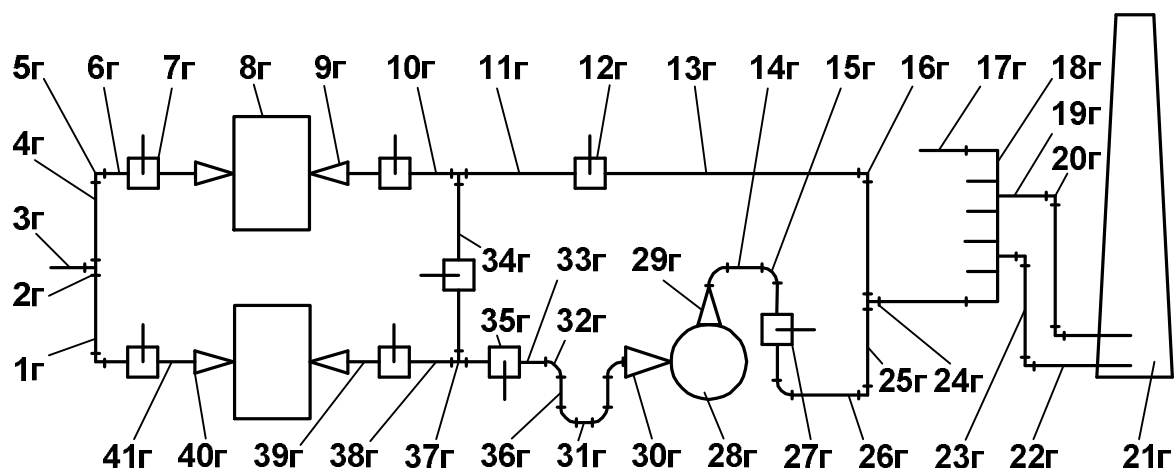
Вариант 48-1

1Г	2Г	3Г	4Г	5Г	6Г	7Г	8Г
L = 5 м	L = 8 м	L = 8 м	R/b = 5	L = 4 м		L = 4 м	$S_H/S_K = 3,5$
9Г	10Г	11Г	12Г	13Г	14Г	15Г	16Г
	$S_K/S_H = 4$	R/b = 5	L = 2,5 м	R/b = 5	L = 4 м		$S_H/S_K = 1$
17Г	18Г	19Г	20Г	21Г	22Г	23Г	24Г
L = 2 м			R/b = 5	L = 2 м	L = 8 м	L = 50 м	
25Г	26Г	27Г	28Г	29Г	30Г	31Г	32Г
L = 15 м		L = 32 м	L = 5 м	L = 25 м	$S_H/S_K = 1$	L = 4 м	R/b = 5
33Г	34Г	35Г	36Г	37Г	38Г	39Г	40Г
	L = 2 м	R/b = 5	L = 2,5 м	R/b = 5	$S_H/S_K = 4$	L = 2 м	$S_K/S_H = 4$
41Г	42Г	43Г	44Г	45Г	46Г	47Г	48Г
L = 3 м	L = 3 м	L = 6 м	L = 6 м		L = 4 м	L = 4 м	R/b = 5

Вариант 48-2

1Г	2Г	3Г	4Г	5Г	6Г	7Г	8Г
L = 5 м	L = 8 м	L = 8 м	R/b = 2,5	L = 4 м		L = 4 м	$S_H/S_K = 4$
9Г	10Г	11Г	12Г	13Г	14Г	15Г	16Г
	$S_K/S_H = 4$	R/b = 2,5	L = 2,5 м	R/b = 2,5	L = 4 м		$S_H/S_K = 1$
17Г	18Г	19Г	20Г	21Г	22Г	23Г	24Г
L = 2 м			R/b = 2,5	L = 2 м	L = 8 м	L = 40 м	
25Г	26Г	27Г	28Г	29Г	30Г	31Г	32Г
L = 15 м		L = 32 м	L = 5 м	L = 25 м	$S_H/S_K = 1$	L = 4 м	R/b = 2,5
33Г	34Г	35Г	36Г	37Г	38Г	39Г	40Г
	L = 2 м	R/b = 5	L = 2,5 м	R/b = 2,5	$S_H/S_K = 4$	L = 2 м	$S_K/S_H = 4$
41Г	42Г	43Г	44Г	45Г	46Г	47Г	48Г
L = 4 м	L = 5 м	L = 6 м	L = 6 м		L = 6 м	L = 2,5 м	R/b = 2,5

Г41



Вариант 41-1

1Г	2Г	3Г	4Г	5Г	6Г	7Г	8Г
L = 8 м	$S_H/S_K = 1$	L = 2 м	L = 4 м	$\alpha = 90^\circ$	L = 4 м		
9Г	10Г	11Г	12Г	13Г	14Г	15Г	16Г
$S_H/S_K = 3$	L = 4,5 м	L = 4,5 м		L = 4,5 м	L = 4 м	R/b = 3	$\alpha = 90^\circ$
17В	18Г	19Г	20Г	21Г	22Г	23Г	24Г
L = 20 м		L = 20 м	$\alpha = 90^\circ$		L = 10 м	L = 30 м	$S_H/S_K = 1$
25Г	26Г	27Г	28Г	29Г	30Г	31Г	32Г
L = 5 м	L = 12 м			$S_K/S_H = 3$	$S_K/S_H = 4$	L = 6 м	R/b = 3
33Г	34Г	35Г	36Г	37Г	38Г	39Г	40Г
L = 2 м	L = 4 м		L = 2,5 м	$S_K/S_H = 1$	L = 2,5 м	L = 5 м	$S_H/S_K = 3$

41Г

L = 8 м

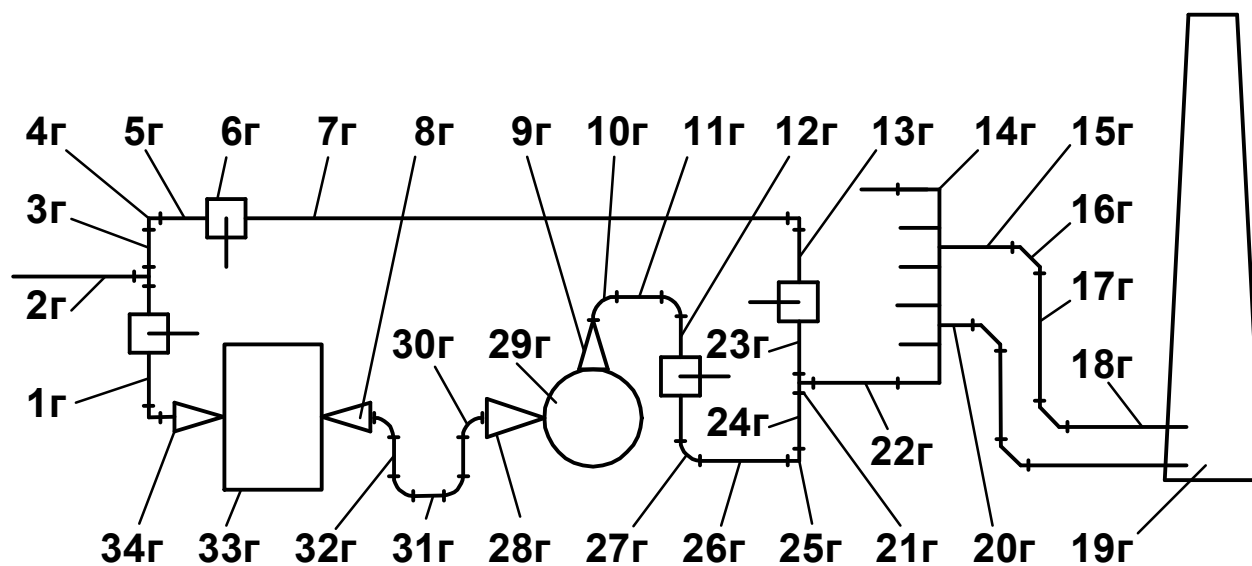
Вариант 41-2

1Г	2Г	3Г	4Г	5Г	6Г	7Г	8Г
L = 4 м	$S_H/S_K = 1$	L = 2 м	L = 4 м	$\alpha = 90^\circ$	L = 4 м		
9Г	10Г	11Г	12Г	13Г	14Г	15Г	16Г
$S_H/S_K = 4$	L = 4 м	L = 4 м		L = 4 м	L = 4 м	R/b = 5	$\alpha = 90^\circ$
17В	18Г	19Г	20Г	21Г	22Г	23Г	24Г
L = 20 м		L = 20 м	$\alpha = 90^\circ$		L = 10 м	L = 30 м	$S_H/S_K = 1$
25Г	26Г	27Г	28Г	29Г	30Г	31Г	32Г
L = 5 м	L = 12 м			$S_K/S_H = 3$	$S_K/S_H = 3$	L = 6 м	R/b = 5
33Г	34Г	35Г	36Г	37Г	38Г	39Г	40Г
L = 2 м	L = 4 м		L = 5 м	$S_K/S_H = 1$	L = 5 м	L = 4 м	$S_H/S_K = 4$

41Г

L = 8 м

Г34



Вариант 34-1

1Г	2Г	3Г	4Г	5Г	6Г	7Г	8Г
$L = 5 \text{ м}$	$L = 8 \text{ м}$	$L = 3 \text{ м}$	$\alpha = 90^\circ$	$L = 4 \text{ м}$		$L = 20 \text{ м}$	$S_K/S_H = 3$
9Г	10Г	11Г	12Г	13Г	14Г	15Г	16Г
$S_K/S_H = 3$	$R/b = 3$	$L = 2,5 \text{ м}$	$L = 2,5 \text{ м}$	$L = 2,5 \text{ м}$		$L = 4 \text{ м}$	$L = 4 \text{ м}$
17В	18Г	19Г	20Г	21Г	22Г	23Г	24Г
$L = 25 \text{ м}$	$L = 25 \text{ м}$		$L = 5 \text{ м}$	$S_H/S_K = 1$	$L = 40 \text{ м}$	$L = 3 \text{ м}$	$L = 3 \text{ м}$
25Г	26Г	27Г	28Г	29Г	30Г	31Г	32Г
$\alpha = 90^\circ$	$L = 5 \text{ м}$	$R/b = 3$	$S_H/S_K = 4$		$R/b = 3$	$L = 6 \text{ м}$	$L = 3 \text{ м}$
			33Г	34Г			
				$S_H/S_K = 4$			

Вариант 34-2

1Г	2Г	3Г	4Г	5Г	6Г	7Г	8Г
$L = 5 \text{ м}$	$L = 3 \text{ м}$	$L = 3 \text{ м}$	$\alpha = 90^\circ$	$L = 3 \text{ м}$			$S_K/S_H = 4$
9Г	10Г	11Г	12Г	13Г	14Г	15Г	16Г
$S_K/S_H = 3$	$R/b = 5$	$L = 5 \text{ м}$	$L = 5 \text{ м}$	$L = 5 \text{ м}$		$L = 5 \text{ м}$	$L = 4 \text{ м}$
17В	18Г	19Г	20Г	21Г	22Г	23Г	24Г
$L = 35 \text{ м}$	$L = 35 \text{ м}$		$L = 5 \text{ м}$	$S_H/S_K = 1$	$L = 40 \text{ м}$	$L = 5 \text{ м}$	$L = 5 \text{ м}$
25Г	26Г	27Г	28Г	29Г	30Г	31Г	32Г
$\alpha = 90^\circ$	$L = 5 \text{ м}$	$R/b = 5$	$S_H/S_K = 4$		$R/b = 5$	$L = 6 \text{ м}$	$L = 3 \text{ м}$
			33Г	34Г			
				$S_H/S_K = 3$			

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Характеристики дымоходов типа Д и ДН

№	Модель	п, об/мин	Q, тыс. м ³ /ч	P, кПа	η, %	N, кВт
1	ВДН-8	740 980	1,5-8,5 1,5-10,5	0,30-0,75 0,70-1,25	82	1,5 4,0
2	ВДН-9	740 980	1,5-11,5 2,0-15,0	0,45-0,90 0,70-1,60	83	3,0 6,0
3	ВДН-10	740 980	1,5-16,0 2,0-21,5	0,50-1,15 0,95-1,95	83	4,5 11,5
4	ВДН-11,2	740 980	4-22 5-29	0,70-1,40 1,15-2,45	83	9 19
5	ВДН-12,5	740 980	7-31 8-41	0,80-1,70 1,40-3,10	83	14 32
6	ВДН-15	740 980	12-70 15-93	0,60-2,50 1,00-4,30	84	24 52
7	ВДН-17	740 980	15-90 20-120	1,20-3,10 2,30-5,40	85	60 155
8	ВДН-18-11	740 980	70-190 90-225	0,90-3,10 1,60-4,60	87	93 195
9	ВДН-18-11У	740 980	60-150 75-160	1,30-2,30 2,20-4,15	83	110 200
10	ВДН-19	740 980	20-130 30-170	1,50-3,70 2,70-6,85	85	110 255
11	ВДН-20-11	740 980	100-260 130-350	1,05-3,35 1,85-5,25	87	150 350
12	ВДН-20-11У	740 980	80-175 105-230	1,30-2,90 2,30-5,15	82,5	130 305
13	ВДН-21	740 980	35-180 40-230	1,85-4,85 3,40-6,35	85	185 435
14	ВДН-22-11У	590 740	50-250 60-320	1,05-2,40 1,60-3,80	86	145 280
15	ВДН-24-11У	590 740	50-320 80-410	1,30-2,85 2,00-4,75	86	165 450
16	ВДН-26-11У	590 740	130-415 180-530	1,35-3,20 2,20-5,10	86	310 640
17	ВДН-28-11У	590 740	90-500 100-620	1,55-3,50 2,50-5,60	84	435 870
18	ВДН-24×2-11У	740	200-780	1,80-4,20	85	780
19	ВДН-25×2	740 980	180-600 250-740	2,20-5,50 3,90-9,50	89	700 1530
20	ВДН-32Б	590 740	180-570 240-740	1,90-4,85 2,90-7,40	88	595 1150
21	ВДН-36×2	920	650-2100	6,00-17,70	89	6500

Характеристики дымососов

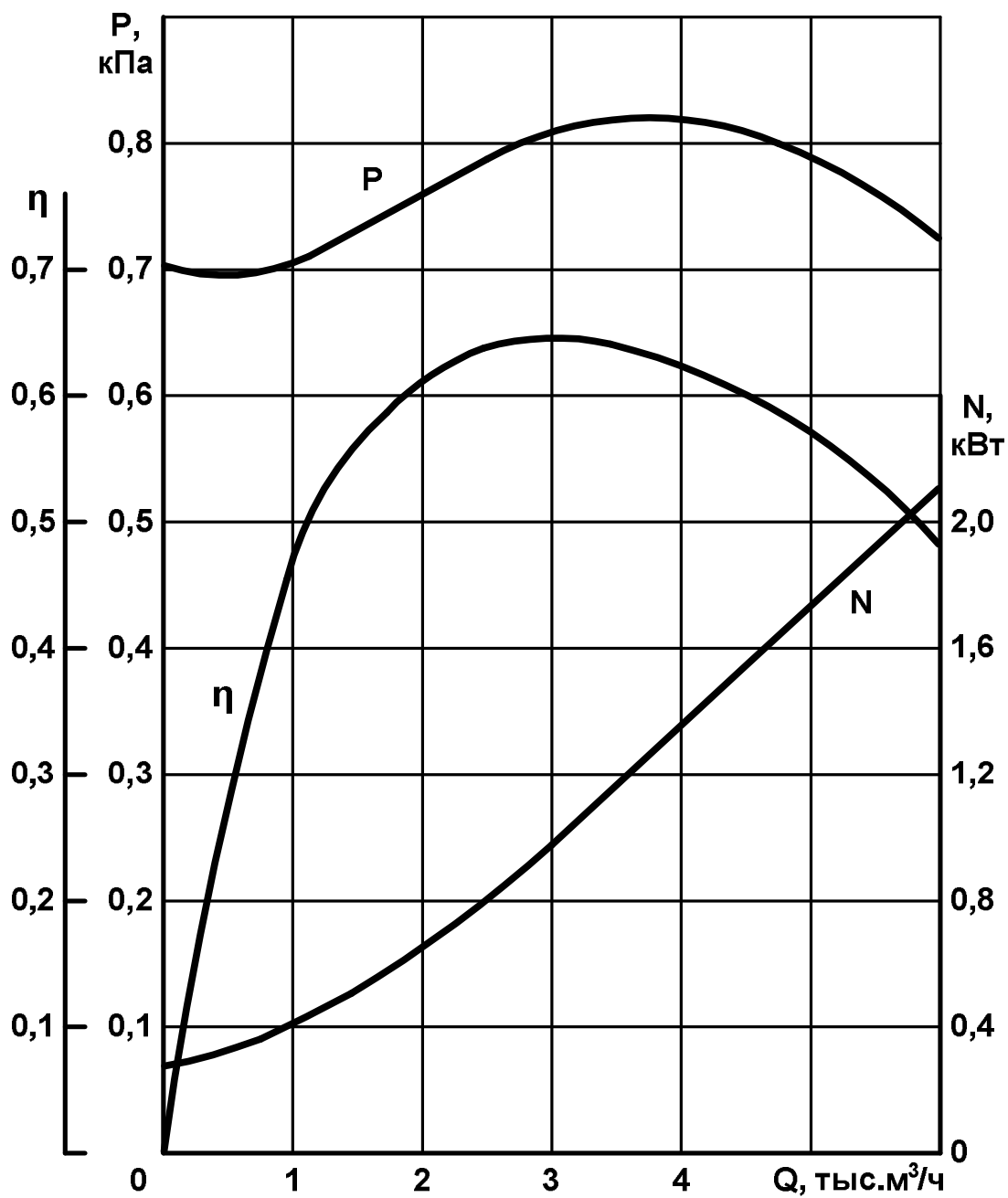


Рис. П2.1. Характеристика Д-3,5
 $n = 1500$ об/мин; $h = 760$ мм рт. ст.; $t = 350$ °С.

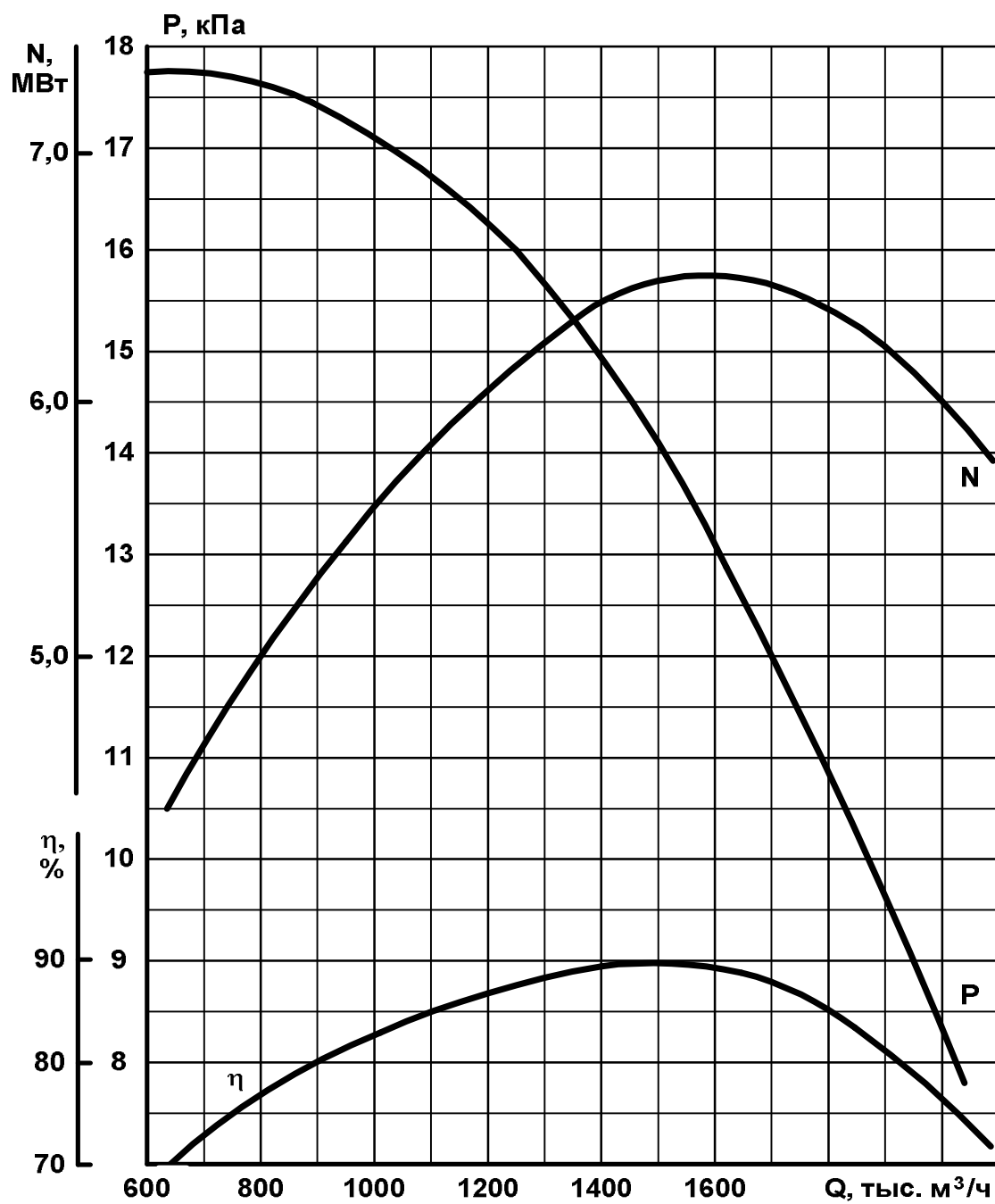


Рис. П2.2. Характеристика Д-8
 $n = 980$ об/мин; $h = 760$ мм рт. ст.; $t = 200$ °C

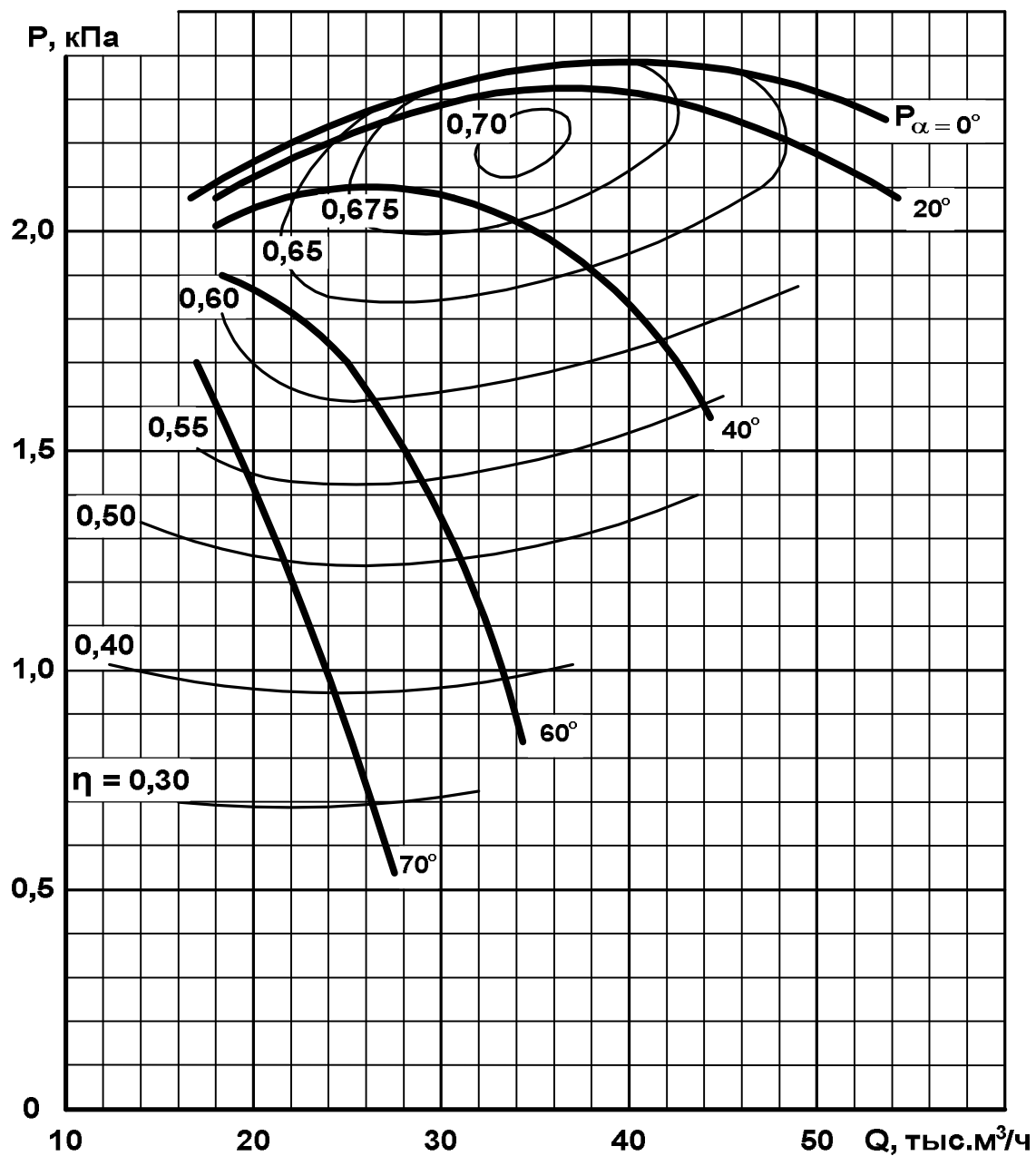


Рис. П2.3. Характеристика Д-12
 $n = 980$ об/мин; $h = 760$ мм рт. ст.; $t = 200$ °C

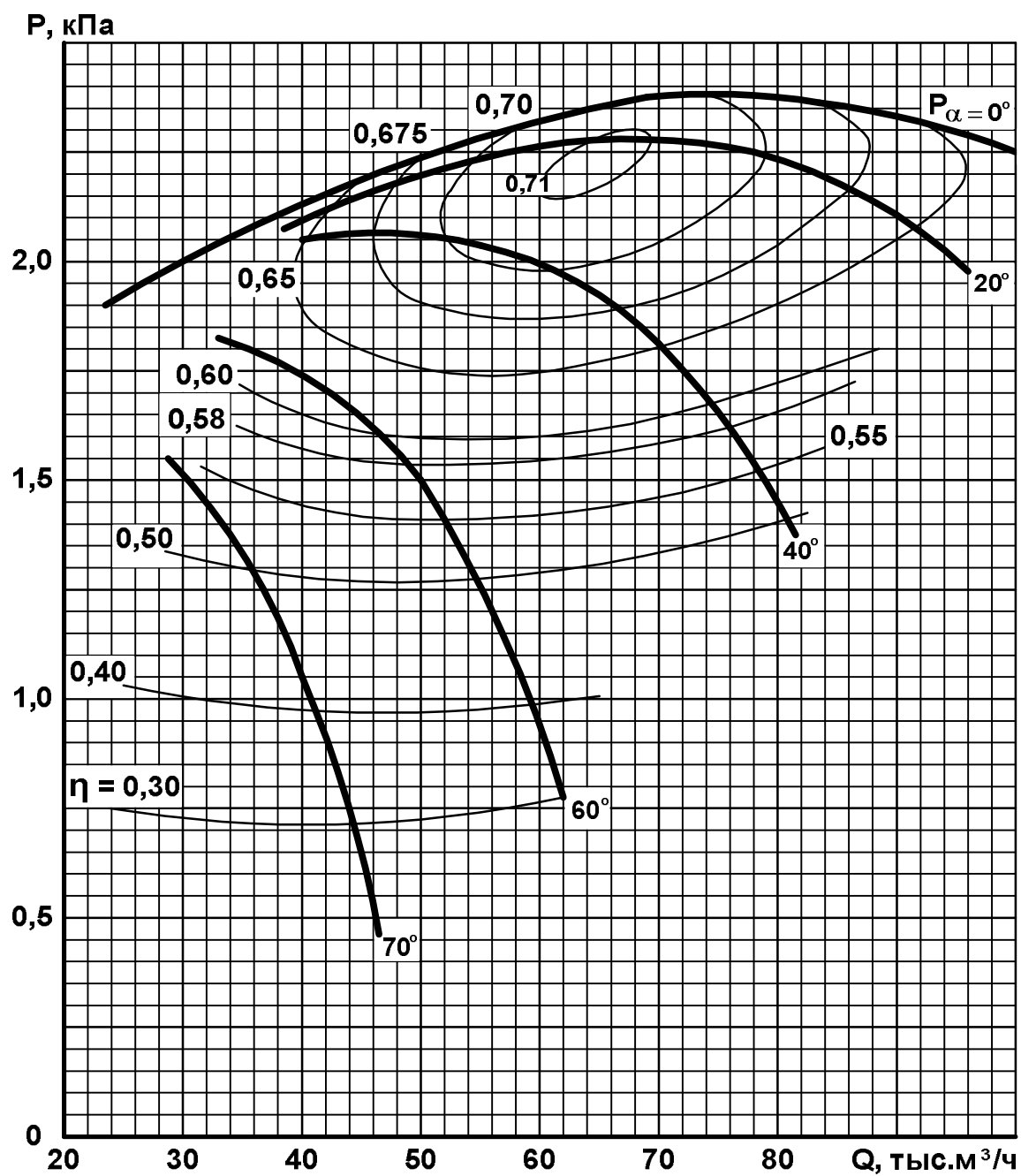


Рис. П2.4. Характеристика Д-15,5
 $n = 740$ об/мин; $h = 760$ мм рт. ст.; $t = 200^\circ\text{C}$

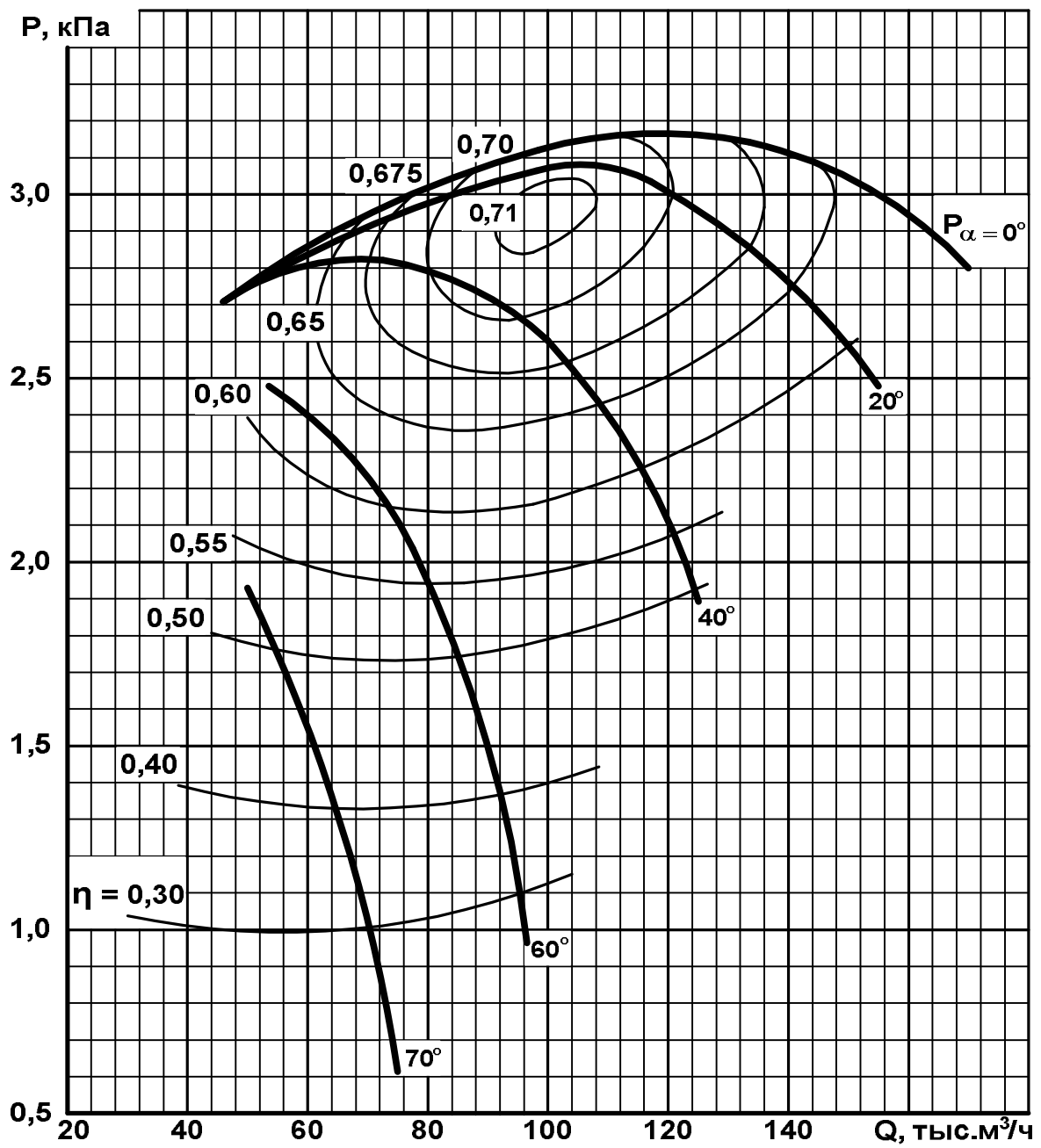


Рис. П2.5. Характеристика Д-18
 $n = 740$ об/мин; $h = 760$ мм рт. ст.; $t = 200^\circ\text{C}$

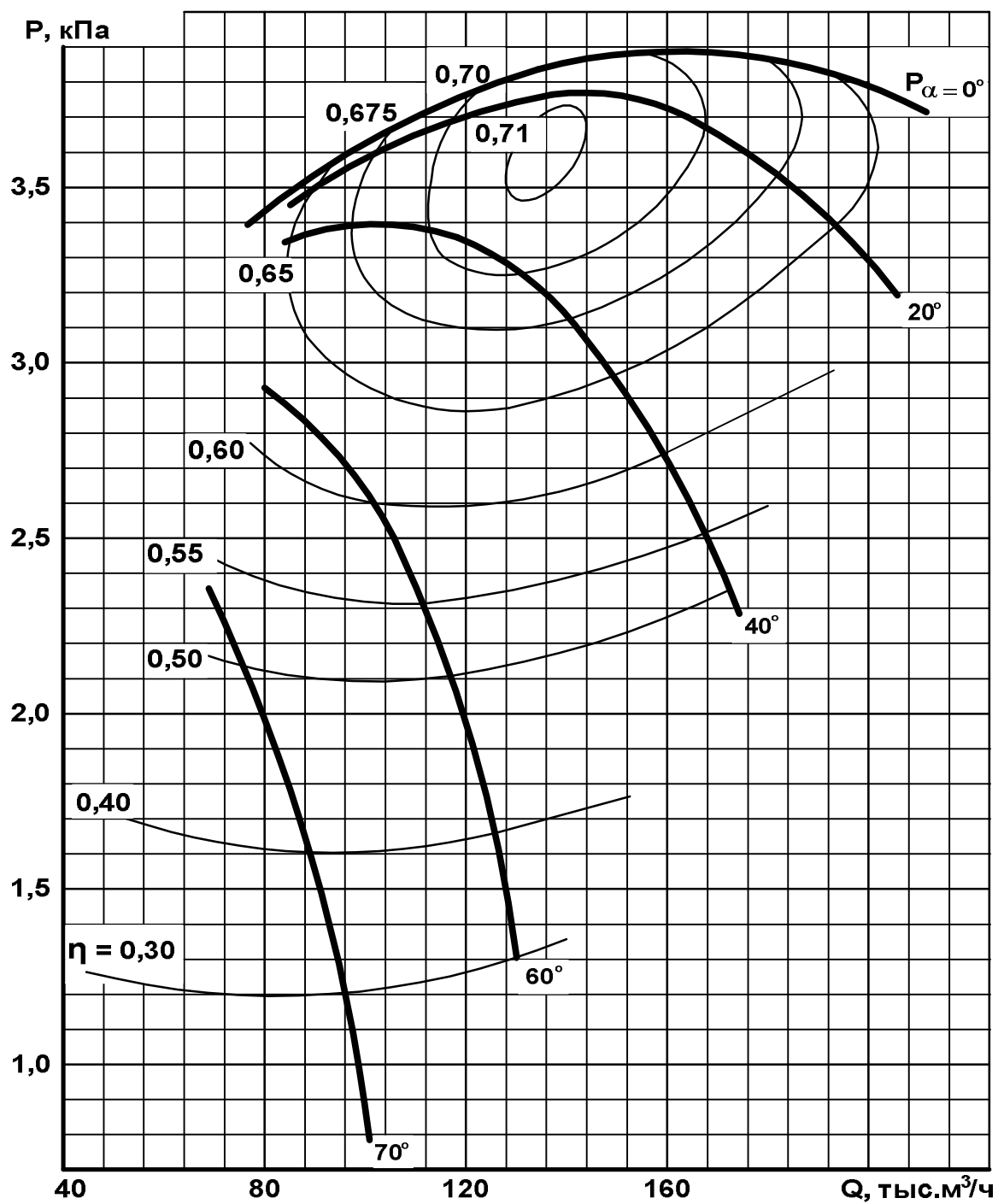


Рис. П2.6. Характеристика Д-20
 $n = 740$ об/мин; $h = 760$ мм рт. ст.; $t = 200$ °С

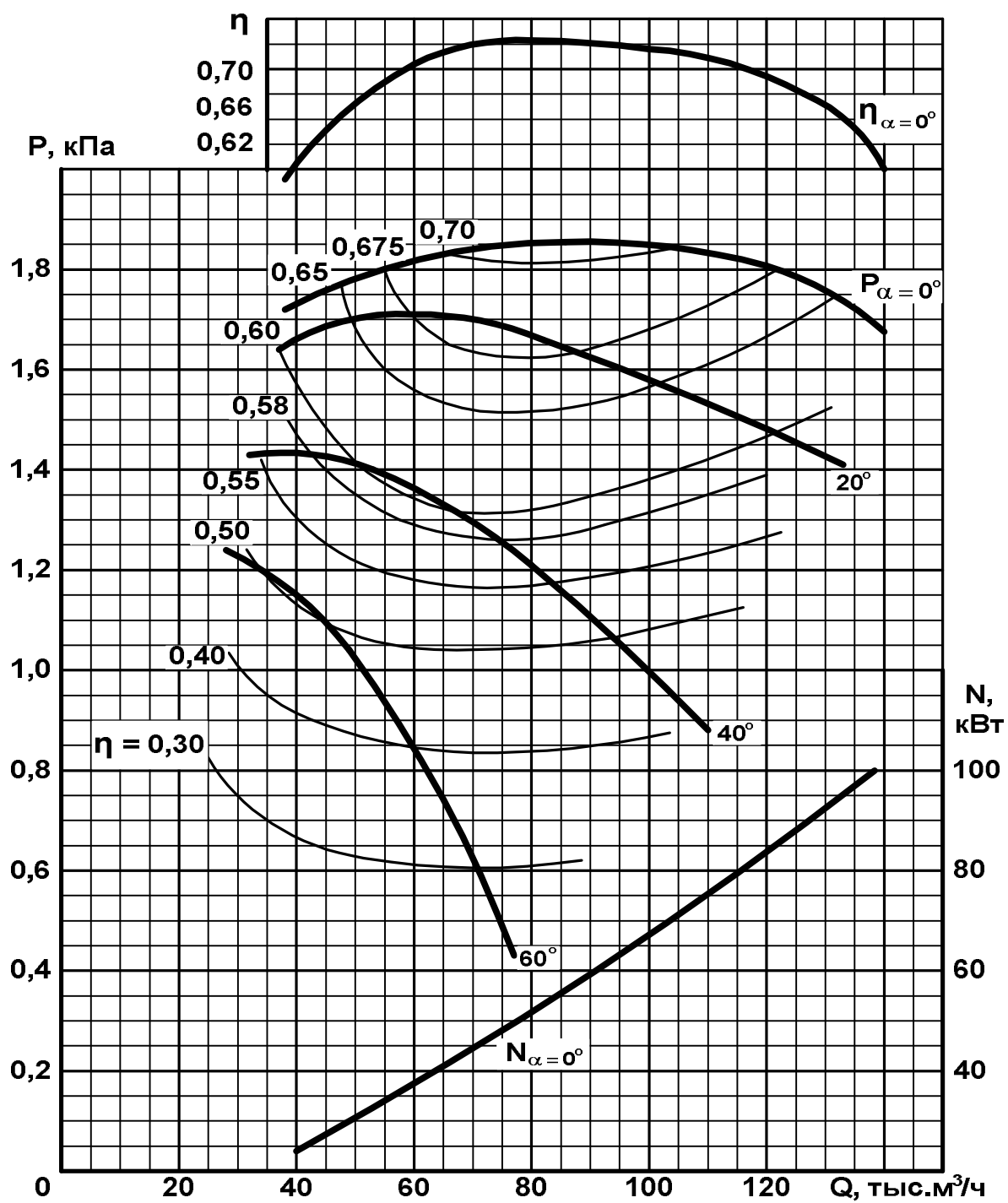


Рис. П2.7. Характеристика Д-13,5×2
 $n = 730 \text{ об/мин}$; $h = 760 \text{ мм рт. ст.}$; $t = 200^\circ \text{C}$

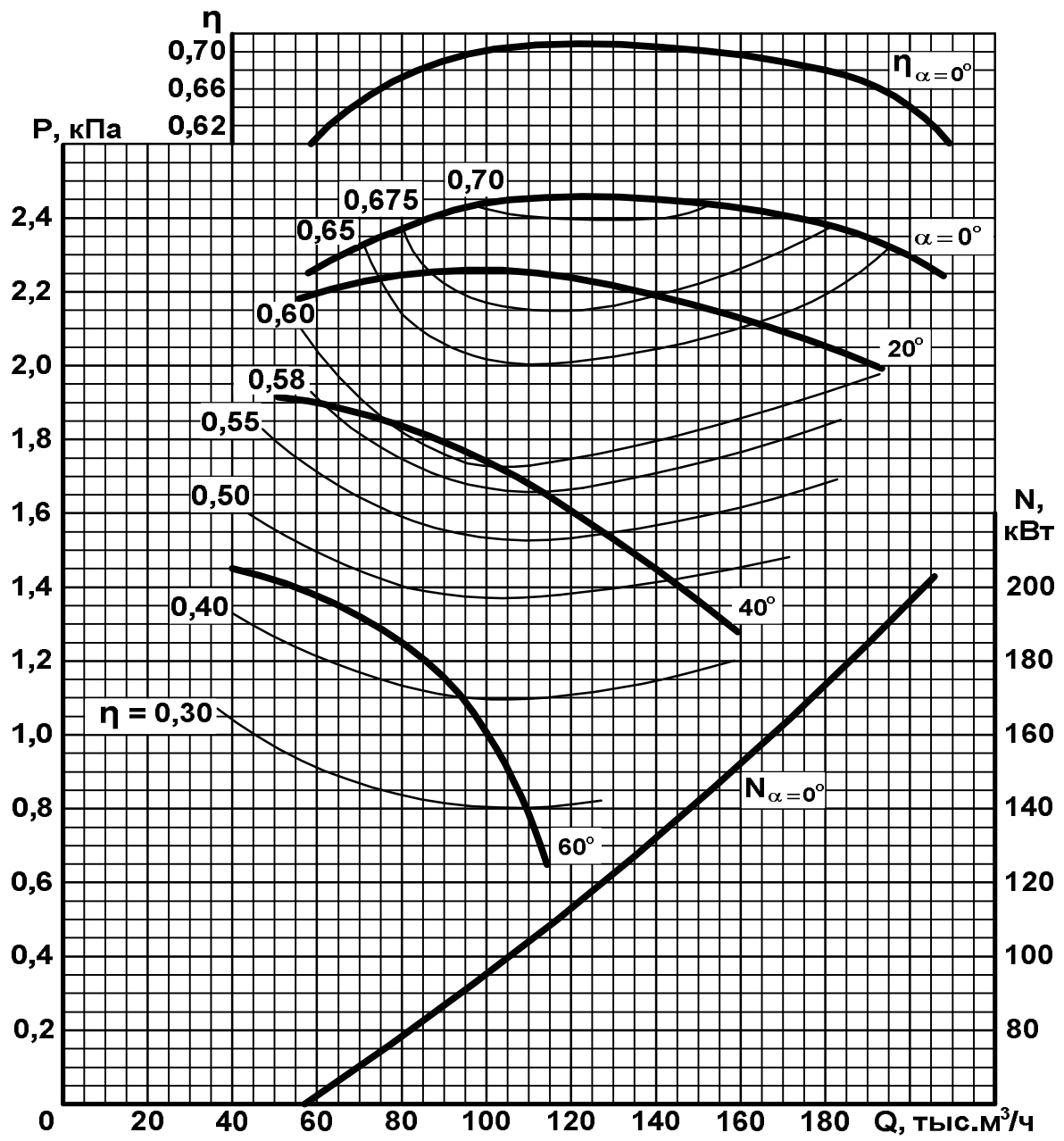


Рис. П2.8. Характеристика Д - 15,5x2
 $n = 730$ об/мин; $h = 760$ мм рт. ст.; $t = 200$ °C

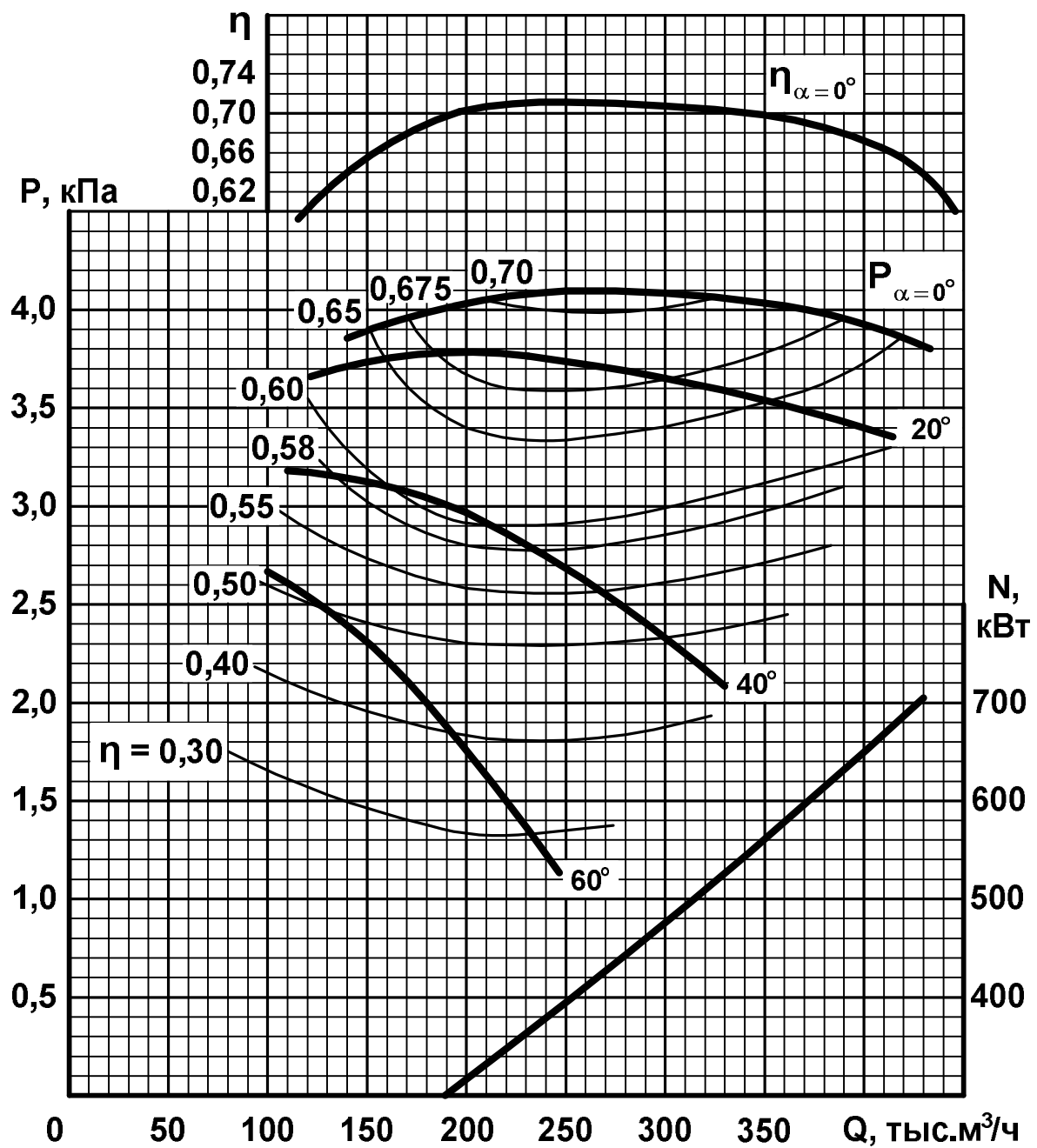


Рис. П2.9. Характеристика Д-20х2
 $n = 740 \text{ об/мин}$; $h = 760 \text{ мм рт. ст.}$; $t = 200^\circ\text{C}$

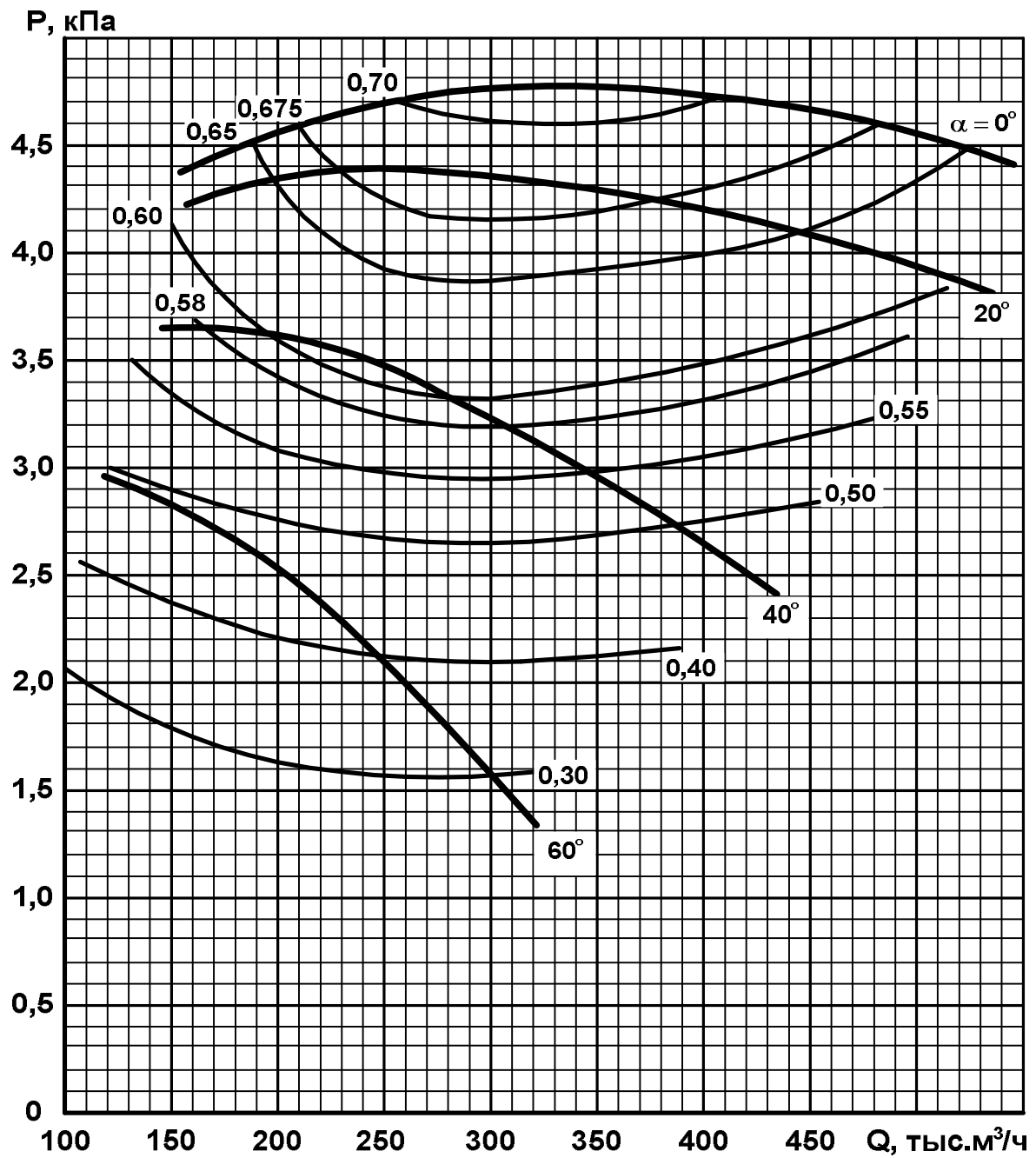


Рис. П2.10. Характеристика Д-21,5×2
 $n = 740$ об/мин; $h = 760$ мм рт. ст.; $t = 200$ °C