

3. Stolbov Ju.V., Volovnik N.S., Suhov A.N. et al. *Prakticheskoe rukovodstvo po kontrolju kachestva stroitel'no-montaznyh rabot* [A Practical Guide to Quality Control of construction and assembly works]. Omsk, SibADI, 1988. Dep. In VNIIS 28.01.88, no 85-50.

4. Venttsel E.S., Ovcharov L.A. *Teoriya verojatnostej* [Teoriya probabilities: the textbook]. Moscow, Nauka, 1980. 355 p.

5. Gmurman V.E. *Teoriya verojatnostej i matematicheskaja statistika* [Teoriya probability and mathematical statistics]. Moscow, H. School, 2003. 479 p.

6. GOST 21778-81. *Sistema obespechenija tochnosti geometricheskikh parametrov v stroitel'stve. Osnovnye polozhenija*. [State standard 21778-81 System geometric parameters ensure accuracy in construction. Hoz main points]. Moscow, Izd-v Standartov, 1989. 5 p.

7. GOST 21779-82. *Sistema obespechenija tochnosti geometricheskikh parametrov v stroitel'stve. Tehnologicheskie dopuski* [State standard 21779-82. System geometric parameters ensure accuracy in construction. Technological dopuski]. Moscow, Izd-v Standartov, 1993. 17 p.

8. Stolbov Ju.V., Stolbova S.Ju., Nechaev D.O. *Obespechenie vysotnogo polozhenija osnovanij pokrytij avtomobil'nyh dorog: monografija* [Providing high-altitude position bases of highways covering]. Omsk: SibADI, 2013. 144 p.

Воловник Наталья Сергеевна (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Организация и технология

строительства» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: volovnik.natalya@mail.ru).

Казakov Виталий Анатольевич (Россия, г. Омск) – кандидат экономических наук, доцент, и.о.зав. кафедрой «Организация и технология строительства» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: k9139742550@gmail.com).

Андрюшенков Александр Федорович (Россия, г. Омск) – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Организация и технология строительства» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: k9139742550@rambler.ru).

Volovnik Natalya Sergeyevna (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, the associate professor The Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: volovnik.natalya@mail.ru).

Kazakov Vitaly Anatolyevich (Russian Federation, Omsk) – candidate of economic sciences, the associate professor, The Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: k9139742550@gmail.com).

Andryushenkov Alexander Fedorovich (Russian Federation, Omsk) – candidate of economic sciences, The Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: k9139742550@rambler.ru).

УДК 697.92: 628.83

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ЗДАНИЙ ЧЕРЕЗ ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕТИ

В.Д. Галдин, М.А. Кривошеин

Омский государственный технический университет (ОмГТУ), Россия, г. Омск.

Аннотация. В статье рассмотрена обратная задача аэродинамического расчета систем вентиляции зданий, в которой необходимо определить расходы воздуха на всех участках сети с известными геометрическими размерами, при установке в сеть вентилятора с заданной характеристикой. Предложен метод решения задачи через построение характеристики сети и представлены примеры решения конкретных задач по данному методу.

Ключевые слова: вентиляция, аэродинамический расчет, обратная задача, задача о потокораспределении.

Введение

Аэродинамический расчет систем вентиляции зданий, как правило, выполняется для подбора оборудования и сечений вентиляционных каналов (воздуховодов) с целью обеспечения требуемого воздухообмена помещений. Исходными данными для расчета являются расходы удаляемого либо приточного воздуха для каждого помещения и схема

системы вентиляции. По требуемым расходам производится подбор сечений воздуховодов, определяются суммарные потери давления в сети, проводится подбор вентиляторов по известным характеристикам. Такую задачу принято называть «прямой». Порядок и примеры расчета подобных задач широко известны и детально рассмотрены в ряде работ [1-5].

Однако на практике встречаются задачи, при которых исходными данными являются сечения воздуховодов и характеристики устанавливаемых вентиляторов. Определяемыми являются величины расходов воздуха на отдельных участках сети. Такую задачу называют «обратной» задачей аэродинамического расчета или задачей о потокораспределении.

В качестве наиболее простого примера обратной задачи можно привести вытяжную систему вентиляции, удаляющую воздух из двух помещений (рис.1). На выходе из сети установлен вентилятор с известной характеристикой. Известны длины, диаметры и абсолютная шероховатость (материал) воздуховодов, позволяющие определить потери давления на участках сети. Необходимо определить расходы удаляемого воздуха для каждого помещения.

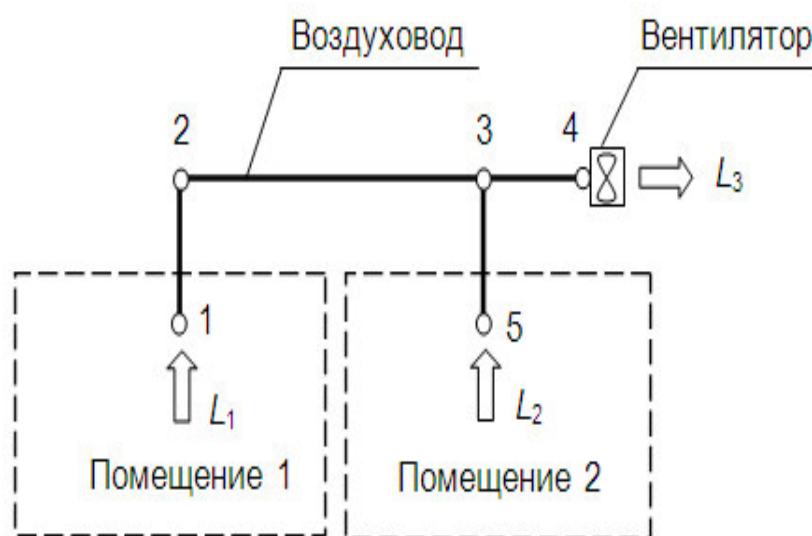


Рис. 1. Расчетная схема системы вентиляции двух помещений

Существует несколько методов решения подобных задач: способ эквивалентных отверстий (или сопел) Блесса, который заключается в условной замене участков системы эквивалентными по потере давления отверстиями [3-5]; способ перемещения единицы объема, предложенный П. Н. Каменевым [3-5]; способ характеристик, предложенный С. Е. Бутаковым [5], который впоследствии был развит Н. Н. Разумовым и сведен к графоаналитическому расчету [6].

Описание методики решения обратной задачи через построение характеристики сети

Решение обратной задачи по предлагаемому методу основано на положениях «прямой» задачи аэродинамического расчета, представленных в работах [3,7].

Согласно «прямой» задаче расходы воздуха на участках сети будут равны требуемым в случае, если потери давления от каждой точки входа (выхода) воздуха в сеть до вентилятора будут одинаковыми.

Основываясь на данном условии, принято, что оно будет справедливо и при

обратной задаче, так как при установившемся режиме работы вентилятора эти потери давления должны быть равны, из чего следует, что характеристика сети для каждого случая совпадает (одна и та же кривая на графической зависимости). Таким образом, последовательно (с определенным шагом) задавая расходом воздуха, создаваемого вентилятором, можно определить суммарные потери давления в сети.

Режим работы вентилятора определяется точкой пересечения характеристик сети и вентилятора [8-11], однако аэродинамическая сеть, на которую работает вентилятор, как правило, представляет собой линейный участок сети, не имеющий ответвлений (тройники, крестовины), что значительно упрощает расчеты. Решение подобных задач для разветвленных сетей в известных работах отсутствуют.

Основной проблемой при определении суммарных потерь давления для разветвленных сетей является построение характеристики сети, а именно определение потерь давления на ответвлениях (тройниках и крестовинах). Неоднозначность решения

задачи заключается в том, что для определения потерь давления на тройниках (крестовинах), необходимо задаваться на них расходами воздуха, которые в свою очередь являются неизвестными величинами.

Данную проблему предлагается решать методом последовательных приближений (итераций): изначально задаваясь суммарным расходом, последовательно задаются расходы воздуха на ответвлениях, и определяется, при каких значениях расходов воздуха суммарные потери давления на ответвлениях будут равны. Полученные величины и будут являться искомыми.

В результате, при задании различных величин суммарного расхода воздуха подаваемого вентилятором, для каждого случая определяются соотношения расходов на ответвлениях и суммарные потери давления в сети, после чего строится характеристика сети.

Особенность предлагаемого метода заключается в построении характеристики сети, на которую накладывается характеристика вентилятора. После наложения характеристик определяется рабочая точка (режим работы вентилятора) и расходы воздуха через все участки аэродинамической сети. В данном случае нет необходимости в использовании сложных номограмм и решении систем нелинейных уравнений.

Последовательность расчета следующая:

1) определение суммарных потерь давления от каждой точки входа (выхода) воздуха в сеть до вентилятора при задании различных расходов воздуха, создаваемого вентилятором;

2) определение расходов воздуха на ответвлениях, при которых соблюдается условие равенства суммарных потерь давления от каждой точки входа (выхода) воздуха в сеть до вентилятора (таким образом, определяется распределение потоков воздуха в сети при различных расходах);

3) построение характеристики сети по полученным величинам расходов воздуха и потерям давления;

4) наложение характеристики вентилятора на полученную характеристику сети;

5) установление режима работы вентилятора (точка пересечения

характеристики сети и характеристики вентилятора), то есть определение расхода воздуха, удаляемого (подаваемого) вентилятором;

6) определение расходов воздуха во всех точках сети для полученного значения суммарного расхода воздуха.

На рисунке 2 представлены результаты расчета обратной задачи через построение характеристики сети на простейшем примере.

Расчетами определены суммарные потери давления Δp при различных значениях суммарного расхода воздуха $L_{\text{сумм}}$, удаляемого вентилятором (табл. 1) и расходы воздуха на ответвлениях L_1 и L_2 . По полученным значениям $L_{\text{сумм}}$ и Δp построена характеристика сети (рис. 2.2).

Таким образом, при установке в сеть вентилятора Vents ВКО 100, суммарно будет удаляться 92,6 м³/ч воздуха при давлении $\Delta p = 5,72$ Па (рис. 2.2, точка А), из которых 36,9 м³/ч будет удаляться из первого помещения, а 55,7 м³/ч из второго

Достоинством предлагаемого метода является то, что после построения характеристики сети можно быстро определить режим работы любого другого вентилятора, устанавливаемого в данную точку сети (например, при замене первоначально выбранного (расчетного) вентилятора на вентилятор с другой характеристикой). В итоге не требуется повторять расчет, а достаточно наложить новую характеристику вентилятора на характеристику сети.

Например, заменим вентилятор Vents ВКО 100 на Vents ВКО 100 Пресс (рис. 2.2). Режим работы вентилятора будет определяться точкой пересечения с уже построенной ранее характеристикой сети и характеристикой нового вентилятора.

В результате при установке в сеть вентилятора Vents ВКО 100 Пресс суммарно будет удаляться 101,7 м³/ч воздуха при давлении $\Delta p = 6,81$ Па (рис. 2.2, точка Б), из которых 40,6 м³/ч будет удаляться из первого помещения, а 61,1 м³/ч из второго (табл. 1).

Таким образом, представленное выше преимущество позволяет быстро подобрать требуемый вентилятор, для его установки в аэродинамическую сеть с известной характеристикой.

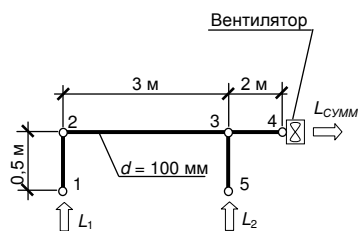


Рис. 2.1. Расчетная схема системы вентиляции двух помещений

Последовательность расчета

1. Суммарные потери давления от т. 1 до т. 4 должны быть равны суммарным потерям давления от т. 5 до т. 4:

$$\Delta p_{1-2-3-4} = \Delta p_{5-3-4} = \Delta p.$$

2. По полученным значениям суммарного расхода $L_{сумм}$ и суммарным потерям давления Δp (таб. 1) строится характеристика сети (рис 2.2).

3. Точка пересечения характеристик сети и вентилятора показывает режим работы вентилятора:

Vents 100: $L_{сумм} = 92,6 \text{ м}^3/\text{ч}$; $\Delta p = 5,72 \text{ Па}$ (рис 2.2, точка А);

Vents 100 Пресс: $L_{сумм} = 101,7 \text{ м}^3/\text{ч}$; $\Delta p = 6,81 \text{ Па}$ (рис 2.2, точка Б).

4. При данных значениях суммарного расхода и потерь давления, расходы воздуха на ответвлениях равны:

Vents 100: $L_1 = 36,9 \text{ м}^3/\text{ч}$, $L_2 = 55,7 \text{ м}^3/\text{ч}$;

Vents 100 Пресс: $L_1 = 40,6 \text{ м}^3/\text{ч}$, $L_2 = 61,1 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Таблица 1 – Результаты расчета системы вентиляции двух помещений

$L_{сумм}, \text{м}^3/\text{ч}$	$L_1, \text{м}^3/\text{ч}$	$L_2, \text{м}^3/\text{ч}$	$\Delta p, \text{Па}$
0,0	0,0	0,0	0,00
10,0	3,8	6,2	0,10
20,0	7,7	12,3	0,35
30,0	11,6	18,4	0,73
40,0	15,6	24,4	1,22
50,0	19,6	30,4	1,84
60,0	23,6	36,4	2,57
70,0	27,7	42,3	3,41
80,0	31,7	48,3	4,37
90,0	35,8	54,2	5,43
92,6	36,9	55,7	5,72
100,0	39,9	60,1	6,60
101,7	40,6	61,1	6,81
110,0	44,0	66,0	7,87
120,0	48,0	72,0	9,25

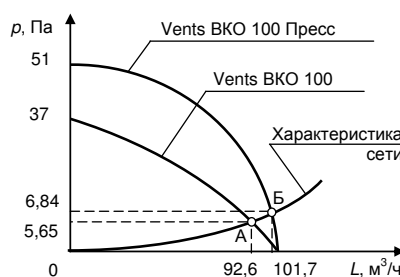


Рис. 2.2. К расчету обратной задачи вентиляции 2-х помещений

Рис. 2. Результаты расчета системы вентиляции двух помещений

Несколько сложнее решение задач о потокораспределении в системах вентиляции трех и более помещений. В этом случае увеличивается количество участков, на которых необходимо увязывать потери давления, и количество производимых итераций.

Рассмотрим решение подобных задач на примере аэродинамической сети, в которой воздух удаляется из четырех помещений (рис. 3). Для побуждения воздуха в точке 5

установлен вентилятор с известной характеристикой.

Расчет необходимо начинать с увязки наиболее удаленных от вентилятора участков. В данном примере в первую очередь увязываются потери давления на участках 1–2 и 6–2, после чего увязываются потери на участках 1–2–3, 6–2–3 и 7–3. Заканчивается увязка равенством потерь давлений участков 1–2–3–4–5, 6–2–3–4–5, 7–3–4–5 и 8–4–5.

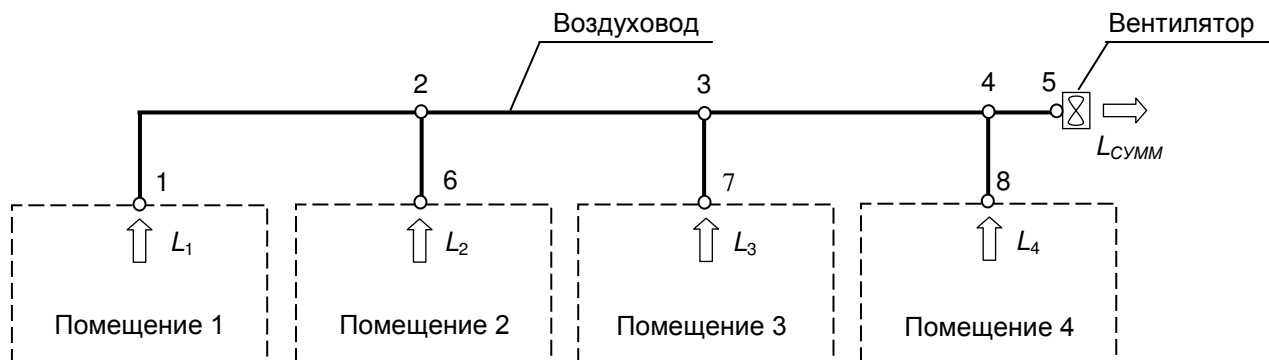


Рис. 3. Расчетная схема системы вентиляции четырех помещений

Результаты расчета задачи о потокораспределении в системах вентиляции

четырёх помещений по данному методу представлены на рисунке 4.

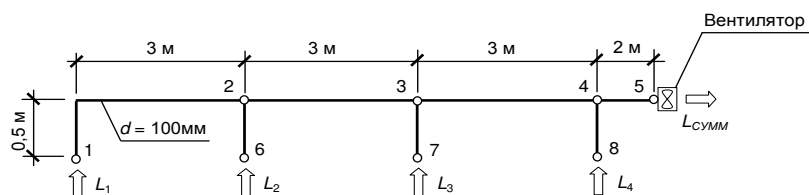


Рис. 4.1. Расчетная схема системы вентиляции четырех помещений

Таблица 2 – Результаты расчета системы вентиляции четырех помещений

$L_{сумм}, \text{м}^3/\text{ч}$	$L_1, \text{м}^3/\text{ч}$	$L_2, \text{м}^3/\text{ч}$	$L_3, \text{м}^3/\text{ч}$	$L_4, \text{м}^3/\text{ч}$	$\Delta p, \text{Па}$
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,000
10,0	0,5	0,9	2,4	6,2	0,099
20,0	1,1	1,9	4,8	12,2	0,344
30,0	1,7	2,9	7,3	18,2	0,716
40,0	2,3	3,9	9,8	24,1	1,208
50,0	2,9	4,9	12,2	30,0	1,815
60,0	3,5	5,9	14,7	35,9	2,533
70,0	4,2	6,9	17,1	41,7	3,360
80,0	4,8	8,0	19,6	47,9	4,295
90,0	5,5	9,0	22,1	53,4	5,337
92,8	5,7	9,3	22,8	55,0	5,644
100,0	6,2	10,0	24,5	59,3	6,484
101,8	6,3	10,2	25,0	60,3	6,706
110,0	6,8	11,1	27,0	65,1	7,736
120,0	7,5	12,1	29,5	70,9	9,091

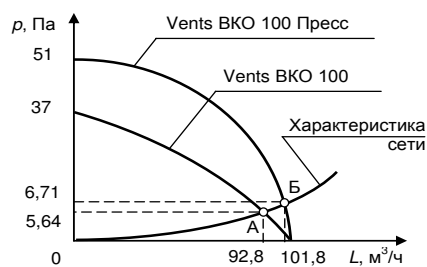


Рис. 4.2. К расчету обратной задачи вентиляции 4-х помещений

Последовательность расчета

1. Суммарные потери давления участка 1 – 5 должны быть равны суммарным потерям давления на участках 6 – 5, 7 – 5 и 8 – 5:

$$\Delta p_{1-2-3-4-5} = \Delta p_{6-2-3-4-5} = \Delta p_{7-3-4-5} = \Delta p_{8-4-5} = \Delta p.$$

2. По полученным значениям суммарного расхода $L_{сумм}$ и суммарным потерям давления сети Δp (табл. 2) строится характеристика сети (рис. 4.2).

3. Точка пересечения характеристики сети и характеристики вентилятора показывает режим работы вентилятора:

Vents 100: $L_{сумм} = 92,8 \text{ м}^3/\text{ч}$; $\Delta p = 5,64 \text{ Па}$ (рис. 4.2, точка А);

Vents 100 Пресс: $L_{сумм} = 101,8 \text{ м}^3/\text{ч}$; $\Delta p = 6,71 \text{ Па}$ (рис. 4.2, точка Б).

4. При данных значениях суммарного расхода и потерь давления, расходы воздуха на ответвлениях равны:

Vents 100: $L_1 = 5,7 \text{ м}^3/\text{ч}$, $L_2 = 9,3 \text{ м}^3/\text{ч}$, $L_3 = 22,8 \text{ м}^3/\text{ч}$, $L_4 = 55,0 \text{ м}^3/\text{ч}$;

Vents 100 Пресс: $L_1 = 6,3 \text{ м}^3/\text{ч}$, $L_2 = 10,2 \text{ м}^3/\text{ч}$, $L_3 = 25,0 \text{ м}^3/\text{ч}$, $L_4 = 60,3 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Рис. 4. Пример расчета системы вентиляции четырех помещений

Для данного примера определены суммарные потери давления Δp при различных значениях суммарного расхода воздуха $L_{сумм}$ удаляемого вентилятором (табл. 2) и расходы воздуха на ответвлениях L_1 , L_2 , L_3 и L_4 . По полученным значениям $L_{сумм}$ и Δp построена характеристика сети (рис. 4.2).

Анализ результатов расчета показывает, что при установке в сеть вентилятора Vents ВКО 100 суммарно будет удаляться $92,8 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха при давлении $\Delta p = 5,64 \text{ Па}$ (рис. 4.2, точка А), из которых $5,7 \text{ м}^3/\text{ч}$ будет удаляться из первого помещения, $9,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ – из второго, $22,8 \text{ м}^3/\text{ч}$ – из третьего и $55,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ – из четвертого.

При установке в сеть вентилятора Vents ВКО 100 Пресс суммарно будет удаляться $101,8 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха при давлении $\Delta p = 6,71 \text{ Па}$ (рис. 4.2, точка Б), из которых $6,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ будет

удаляться из первого помещения, $10,2 \text{ м}^3/\text{ч}$ – из второго, $25,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ – из третьего и $60,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ – из четвертого.

Расчет обратной задачи данным методом при большем количестве помещений выполняется аналогично.

Метод решения обратной задачи через построение характеристики сети представляет особый интерес в случаях, когда необходимо определить рабочую точку для вентилятора с седлообразной характеристикой.

Вентилятор с седлообразной характеристикой (рис. 5) при одном и том же давлении может подавать различное количество воздуха L_1 , L_2 , L_3 . Построение характеристики сети позволяет определить, в каком именно режиме будет работать данный вентилятор (рис. 5, точка А).

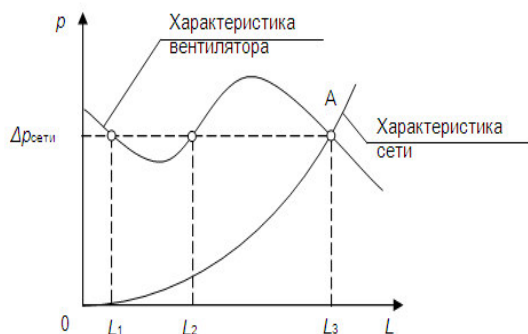


Рис. 5. Определение режима работы вентилятора с седлообразной характеристикой

Выводы

1. Предлагаемый метод позволяет решать обратную задачу аэродинамического расчета в системах вентиляции зданий различной конфигурации.

2. Метод не требует перерасчета систем вентиляции при установке в сеть вентилятора с другой характеристикой, что позволяет выполнить быстрый подбор вентилятора.

3. Построение характеристики сети по предлагаемому методу позволяет определить режим работы вентилятора с седлообразной характеристикой.

Библиографический список

1. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. В 2 т. Т. 2. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Р. В. Щекин [и др.]. – Киев: Будивельник, 1976. – 352 с.
2. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. В 2 ч. Ч. 2. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Под ред. И. Г. Старовойта. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1977. – 502 с.
3. Константинова, В.Е. Расчеты воздухообмена в жилых и общественных зданиях / В.Е. Константинова. – М.: Стройиздат, 1964. – 156 с.
4. Каменев, П.Н., Динамика потоков промышленной вентиляции: учеб. пособие / П.Н. Каменев. – М.: Стройиздат, 1938. – 480 с.
5. Бутаков, С.Е., Аэродинамика систем промышленной вентиляции / С.Е. Бутаков. – М.: Профиздат, 1949. – 270 с.
6. Разумов, Н.Н. Графо-аналитический метод расчета воздухообмена / Н.Н. Разумов // Водоснабжение и санитарная техника. – 1968. – № 12. 1969, № 1.
7. Стефанов, Е.В. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Е.В. Стефанов. – Санкт-Петербург: Издательство «АВОК Северо-Запад», 2005. – 400 с.
8. Вахвахов, Г.Г. Работа вентиляторов в сети / Г.Г. Вахвахов. – М.: Стройиздат, 1975. – 101 с.
9. Поляков, В.В. Насосы и вентиляторы: учеб. для вузов / В.В. Поляков, Л.С. Скворцов. – М.: Стройиздат, 1990. – 336 с.

10. Караджи, В.Г. Некоторые особенности эффективного использования вентиляционно-отопительного оборудования. Руководство / В.Г. Караджи, Ю.Г. Московко. – М.: ИННОВЕНТ, 2004. 139 с.

11. Черкасский, В.М. Насосы, вентиляторы, компрессоры: учеб. для теплоэнергетических вузов / В.М. Черкасский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 416 с.

12. Кривошеин, А.Д. Исследование процессов распределения воздуха в гибридных системах вентиляции жилых зданий / А. Д. Кривошеин, И. В. Андреев // Вестник СибАДИ. – 2013. – № 5 (33). – С. 63–69.

THE SOLUTION OF THE RETURN PROBLEM OF AERODYNAMIC CALCULATION OF SYSTEMS OF VENTILATION OF BUILDINGS THROUGH CREATION OF THE CHARACTERISTIC OF THE NETWORK

V. D. Galdin, M A. Krivoshein

Abstract. In article the return problem of aerodynamic calculation of systems of ventilation of buildings in which it is necessary to define air expenses on all sites of a network with the known geometrical sizes, at installation in a fan network with the set characteristic is considered. The method of the solution of a task through creation of the characteristic of a network is offered and examples of the solution of specific objectives by this method are presented.

Keywords: ventilation, aerodynamic calculation, the return task, a task about a potokoraspredeleniye.

References

1. Shhekin R.V. *Spravochnik po teplosnabzheniju i ventiljacii. V 2 t. T. 2. Ventilacija i kondicionirovanie vozduha* [Reference book on heat supply and ventilation]. Kiev: Budivelnik, 1976. 352 p.
2. Staroverova I.G. *Spravochnik proektirovshhika. Vnutrennie sanitarno-tehnicheskie ustrojstva. V 2 ch. Ch. 2. Ventilacija i kondicionirovanie vozduha* [Reference book of the designer. Internal sanitary devices]. Moscow, Strojizdat, 1977. 502 p.
3. Konstantinova V.E. *Raschety vozduhoobmena v zhilyh i obshhestvennyh zdaniyah* [Calculations of air exchange in residential and public buildings]. Moscow, Strojizdat, 1964. 156 p.
4. Kamenev P.N., *Dinamika potokov promyshlennoj ventiljacii* [Dynamics of streams of industrial ventilation: studies]. Moscow, Strojizdat, 1938. 480 p.
5. Butakov S.E., *Ajerodinamika sistem promyshlennoj ventiljacii* [Aerodynamics of systems of industrial ventilation]. Moscow, Profizdat, 1949. 270 p.
6. Razumov N.N. *Grafo-analiticheskij metod rascheta vozduhoobmena* [Grafo-analiticheskij air exchange calculation method] *Vodosnabzhenie i sanitarnaja tehnika*, 1968, no 12. 1969, no 1.
7. Stefanov E.V. *Ventilacija i kondicionirovanie vozduha* [Ventilation and air conditioning]. Sankt-Peterburg: Izdatel'stvo AVOK Severo-Zapad, 2005. 400 p.
8. Vahvahov G.G. *Rabota ventiljatorov v seti* [Operation of fans in Networks]. Moscow, Strojizdat, 1975. 101 p.

9. Poljakov V.V., Skvorcov L.S. *Nasosy i ventilatory: ucheb. dlja vuzov* [Pumps and fans: studies. for higher education institutions]. M.: Strojizdat, 1990. 336 p.

10. Karadzhi V.G., Moskovko Ju.G. *Nekotorye osobennosti jeffektivnogo ispol'zovanija ventilacionno-otopitel'nogo oborudovanija. Rukovodstvo* [Some features of effective use of the ventilating and heating equipment. Management]. Moscow, INNOVENT, 2004. 139 p.

11. Cherkasskij V.M. *Nasosy, ventilatory, kompressory: ucheb. dlja teploenergeticheskikh vuzov* [Pumps, fans, compressors: studies. for heat power higher education institutions]. Moscow, Jenergoatomizdat, 1984. 416 p.

12. Krivoshein A.D., Andreev I.V. *Issledovanie processov raspredelenija vozduha v gibridnyh* [Research of processes of distribution of air in hybrid systems of ventilation of residential buildings]. *Vestnik SibADI*, 2013, no 5 (33). pp. 63–69.

Кривошейн Михаил Александрович (Омск, Россия) – аспирант каф. «Теплоэнергетика» Омского государственного технического университета (ОмГТУ) (644050, г. Омск, пр. Мира, 11, e-mail: 22kma@mail.ru).

Галдин Владимир Дмитриевич (Омск, Россия) – доктор технических наук, профессор каф. «Теплоэнергетика» Омского государственного технического университета (ОмГТУ) (644050, г. Омск, пр. Мира, 11, e-mail: galdin_vd@mail.ru).

Mikhail A. Krivoshein (Russian Federation, Omsk) – graduate student Omsk state technical university (644050, Omsk, Mira Ave., 11, e-mail: 22kma@mail.ru).

Vladimir D. Galdin (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical science, professor Omsk state technical university (644050, Omsk, Mira Ave., 11 e-mail: galdin_vd@mail.ru).

УДК 620.17

СИСТЕМНАЯ МОДЕЛЬ КОЭФФИЦИЕНТА ПРИЗМЕННОЙ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

Ю.В. Краснощёков

ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

Аннотация. В статье приведены результаты исследования прочности бетона в конструкциях с использованием системного подхода. Показано, что существующая модель призмной прочности с эмпирической зависимостью от класса бетона не учитывает влияния изменчивости прочности бетона. Разработана вероятностная модель коэффициента призмной прочности с учетом его зависимости от однородности бетона. Реализация этой модели является стимулом повышения качества бетона в конструкциях.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, прочность бетона, призмная прочность, коэффициент призмной прочности, расчетная модель, системный подход.

Введение

Известно, что прочность бетона зависит от многих факторов. Фактическая прочность бетона в железобетонных конструкциях может существенно отличаться от принятой при проектировании призмной прочности. Существующая модель призмной прочности с эмпирической зависимостью от класса бетона не учитывает влияния изменчивости прочности бетона. Опытных данных бывает совершенно недостаточно для оценки характеристик прочности как случайной величины, а, следовательно, для вероятностных расчетов. Серьезным препятствием для перехода к вероятностным методам проектирования железобетонных конструкций является отсутствие теоретической модели в виде зависимости прочности бетона в конструкции и опытных образцах с учетом изменчивости прочностных

свойств (однородности). В данной работе предлагается вероятностная модель коэффициента призмной прочности, разработанная с применением системного подхода.

Модели прочности бетона

Основным показателем прочности на сжатие является класс бетона B (нормативная кубиковая прочность R_n в МПа), который соответствует прочности стандартных кубов с обеспеченностью 0,95 и однородностью, характеризуемой обычно коэффициентом вариации прочности $v_b = 0,135$ [1].

В расчетах конструкций по предельным состояниям сопротивление бетона сжатию принимается в виде призмной прочности R_{bn} или R_b в зависимости от группы предельных состояний. Для перехода от нормативной прочности кубов к нормативной