



И. В. Горюнов, руководитель проекта «УМНАЯ ВОДА» компании «Элита»
П. А. Кузнецов, генеральный директор ООО «Нексен»

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ РАСХОДОВ ВОДЫ В СИСТЕМАХ ВНУТРЕННЕГО ВОДОПРОВОДА

Системы холодного и горячего внутреннего водопровода должны обеспечивать требуемую подачу (расход) воды с учетом числа водопотребителей, количества санитарно-технических приборов, неравномерности водопотребления и прочих факторов.

При гидравлическом расчете сетей внутреннего водопровода необходимо вычислять расчетные расходы воды, в том числе максимальный секундный расход. Величина этого расхода решающим образом влияет на подбор диаметров трубопроводов и выбор насосной установки, поэтому необходимо точно определить величину этого расхода.

Отдельные водопотребители используют санитарно-технические приборы независимо друг от друга. Вследствие чего включение/отключение каждого прибора можно рассматривать как случайное событие. Поэтому для вычисления максимального секундного расхода целесообразно применить вероятностный метод [1].

Случайные события, связанные с включением и выключением приборов, являются дискретными, поэтому для расчета количества одновременно действующих приборов используем пуассоновское распределение. Обеспеченность P_0 (вероятность обеспечения заявленных расходов

воды) зависит от количества одновременно действующих приборов и описывается выражением

$$P_0 = \sum_{i=0}^m \frac{(NP)^m \cdot e^{-(NP)}}{m!}, \quad (1)$$

где NP – математическое ожидание количества одновременно включенных приборов;

m – количество одновременно действующих приборов.

В настоящее время методика расчета максимального секундного расхода заключается в следующем [2].

1. Вычисляется значение NP по формуле

$$NP = \frac{q_{hr,u} \cdot U}{360 \cdot q_0}, \quad (2)$$

где $q_{hr,u}$ – норма расхода воды водопотребителем в час с максимальным водопотреблением, л/ч;

U – количество водопотребителей;

q_0 – секундный расход эквивалентного прибора, л/с.

2. По таблицам Б.1 или Б.2 [2] определяется коэффициент α . Если в таблице нет требуемого значения величины NP , для определения α проводится линейная интерполяция.

3. Вычисляется максимальный секундный расход по формуле

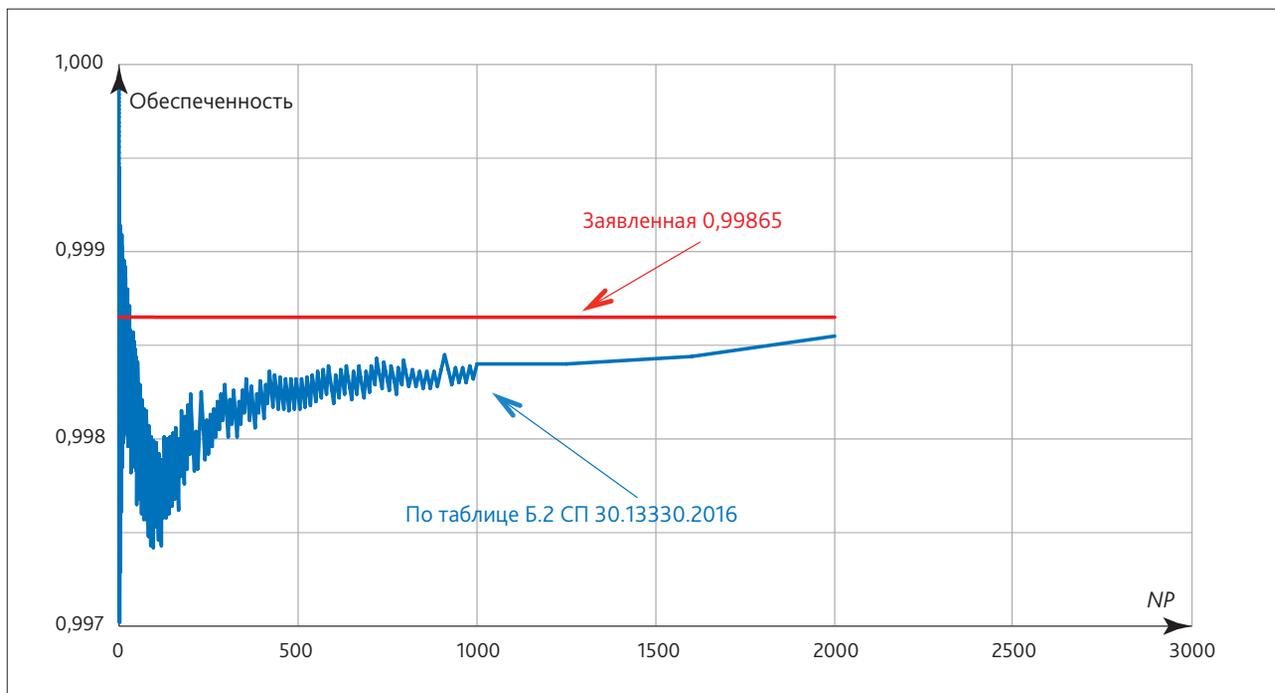


Рис. 1. Фактическая обеспеченность подачи воды (старая методика расчета)

$$q = 5 \cdot q_0 \cdot \alpha, \quad (3)$$

где q_0 – секундный расход эквивалентного прибора, л/с;

α – коэффициент, определяется по табл. Б.1 или Б.2.

Значения коэффициента α в табл. Б.1 и Б.2 приведены при заявленной обеспеченности подачи воды 0,99865 [1]. Таблицы Б.1 и Б.2 были составлены в 70-х годах прошлого века. Уровень развития вычислительной техники и ее возможности были гораздо ниже сегодняшних.

Авторы, используя современные средства вычисления и обработки массивов данных, провели анализ приведенных в табл. Б.1 и Б.2 [2] величин.

Результаты анализа показали, что значения коэффициента α не согласуются с заявленной обеспеченностью подачи воды. На графике (рис. 1) показана фактическая обеспеченность подачи воды, которая вычислена по формуле (1) на основании данных, приведенных в табл. Б.2. Из графика видно, что фактическая обеспеченность подачи воды меньше заявленной практически для всех значений NP . Это в итоге снижает точность результата вычисления максимального секундного расхода воды.

Для того чтобы повысить точность расчета при вычислении максимального секундного

расхода, необходимо скорректировать методику расчета следующим образом.

1. Учитывая, что коэффициент α – это, по существу, количество одновременно действующих приборов, умноженное на секундный расход 0,2 л/с (другими словами, коэффициент имеет физический смысл значения m , деленного на 5), значение максимального секундного расхода следует вычислять по формуле

$$q = q_0 \cdot m, \quad (4)$$

где q_0 – секундный расход эквивалентного прибора, л/с;

m – количество одновременно действующих приборов.

2. В связи с тем что основным параметром расчета является не коэффициент α , а количество действующих приборов m , необходимо изменить структуру (содержание) табл. Б.1 и Б.2 и произвести расчеты табличных данных. В таблице должны быть приведены математические ожидания NP и соответствующее им количество одновременно действующих приборов m .

Авторами были выполнены расчеты значений NP и соответствующих им значений m . Расчет производился для обеспеченности 0,99865. Результаты расчета представлены в таблице.

Количество одновременно действующих санитарно-технических приборов m в зависимости от значения NP (NP_{hr}) при P (P_{hr}) $\leq 0,1$ и любом числе N , а также при P (P_{hr}) $> 0,1$ и $N > 200$

NP (NP_{hr})	m (m_{hr})	NP (NP_{hr})	m (m_{hr})	NP (NP_{hr})	m (m_{hr})	NP (NP_{hr})	m (m_{hr})	NP (NP_{hr})	m (m_{hr})
0,05	1	40,20	60	89,8	119	152	190	259	308
0,21	2	41,01	61	90,6	120	154	192	261	310
0,46	3	41,82	62	91,5	121	156	194	263	312
0,79	4	42,63	63	92,4	122	158	196	264	314
1,17	5	43,45	64	93,2	123	159	198	266	316
1,60	6	44,26	65	94,1	124	161	200	268	318
2,06	7	45,08	66	95,0	125	163	202	270	320
2,56	8	45,90	67	95,8	126	165	204	272	322
3,08	9	46,72	68	96,7	127	166	206	274	324
3,62	10	47,54	69	97,6	128	168	208	275	326
4,19	11	48,36	70	98,4	129	170	210	277	328
4,77	12	49,18	71	99,3	130	172	212	279	330
5,36	13	50,01	72	100,2	131	174	214	281	332
5,97	14	50,83	73	101,1	132	175	216	283	334
6,59	15	51,66	74	101,9	133	177	218	286	337
7,23	16	52,48	75	102,8	134	179	220	288	340
7,87	17	53,31	76	103,7	135	181	222	291	343
8,53	18	54,14	77	104,5	136	183	224	294	346
9,19	19	54,97	78	105,4	137	184	226	297	349
9,86	20	55,81	79	106,3	138	186	228	299	352
10,54	21	56,64	80	107,2	139	188	230	302	355
11,22	22	57,5	81	108,0	140	190	232	305	358
11,91	23	58,3	82	108,9	141	192	234	308	361
12,61	24	59,1	83	109,8	142	193	236	310	364
13,32	25	60,0	84	110,7	143	195	238	313	367
14,03	26	60,8	85	111,5	144	197	240	316	370
14,74	27	61,7	86	112,4	145	199	242	319	373
15,46	28	62,5	87	113,3	146	201	244	321	376
16,19	29	63,3	88	114,2	147	203	246	324	379
16,92	30	64,2	89	115,0	148	204	248	327	382
17,65	31	65,0	90	115,9	149	206	250	330	385
18,39	32	65,9	91	116,8	150	208	252	332	388
19,13	33	66,7	92	117,7	151	210	254	335	391
19,87	34	67,6	93	118,5	152	212	256	338	394
20,62	35	68,4	94	119,4	153	213	258	341	397
21,38	36	69,3	95	120,3	154	215	260	344	400
22,13	37	70,1	96	121,2	155	217	262	346	403
22,89	38	70,9	97	122,1	156	219	264	349	406
23,65	39	71,8	98	122,9	157	221	266	352	409
24,42	40	72,6	99	123,8	158	222	268	355	412
25,18	41	73,5	100	124,7	159	224	270	357	415
25,95	42	74,3	101	125,6	160	226	272	360	418
26,73	43	75,2	102	126	161	228	274	363	421
27,50	44	76,1	103	127	162	230	276	366	424
28,28	45	76,9	104	128	163	232	278	369	427
29,06	46	77,8	105	129	164	233	280	371	430
29,85	47	78,6	106	130	165	235	282	374	433
30,63	48	79,5	107	131	166	237	284	377	436
31,42	49	80,3	108	133	168	239	286	380	439
32,21	50	81,2	109	134	170	241	288	383	442
33,00	51	82,0	110	136	172	242	290	385	445
33,79	52	82,9	111	138	174	244	292	388	448
34,59	53	83,8	112	140	176	246	294	391	451
35,38	54	84,6	113	142	178	248	296	394	454
36,18	55	85,5	114	143	180	250	298	396	457
36,98	56	86,3	115	145	182	252	300	399	460
37,79	57	87,2	116	147	184	253	302	402	463
38,59	58	88,1	117	149	186	255	304	405	466
39,40	59	88,9	118	150	188	257	306	408	469

$NP (NP_{hr})$	$m (m_{hr})$								
410	472	639	716	973	1067	1457	1572	2160	2300
413	475	644	721	979	1074	1466	1582	2173	2314
416	478	649	726	986	1081	1476	1592	2187	2328
419	481	653	731	993	1088	1486	1602	2200	2342
422	484	658	736	999	1095	1495	1612	2215	2357
424	487	663	741	1006	1102	1505	1622	2230	2372
427	490	668	746	1013	1109	1514	1632	2244	2387
430	493	672	751	1019	1116	1524	1642	2259	2402
433	496	677	756	1026	1123	1534	1652	2273	2417
436	499	682	761	1033	1130	1543	1662	2288	2432
438	502	687	766	1039	1137	1553	1672	2302	2447
442	506	691	771	1046	1144	1564	1683	2317	2462
446	510	696	776	1053	1151	1574	1694	2331	2477
450	514	701	781	1060	1158	1585	1705	2346	2492
453	518	706	786	1066	1165	1595	1716	2360	2507
457	522	710	791	1073	1172	1606	1727	2376	2523
461	526	715	796	1081	1180	1617	1738	2391	2539
465	530	720	801	1088	1188	1627	1749	2407	2555
468	534	724	806	1096	1196	1638	1760	2423	2571
472	538	729	811	1104	1204	1648	1771	2438	2587
476	542	734	816	1111	1212	1659	1782	2454	2603
479	546	739	821	1119	1220	1670	1793	2469	2619
483	550	743	826	1126	1228	1680	1804	2485	2635
487	554	748	831	1134	1236	1691	1815	2500	2651
491	558	753	836	1142	1244	1701	1826	2516	2667
494	562	759	842	1149	1252	1712	1837	2532	2684
498	566	764	848	1157	1260	1724	1849	2549	2701
502	570	770	854	1165	1268	1735	1861	2565	2718
506	574	776	860	1172	1276	1747	1873	2582	2735
509	578	781	866	1180	1284	1758	1885	2598	2752
513	582	787	872	1188	1292	1770	1897	2615	2769
517	586	793	878	1195	1300	1782	1909	2631	2786
521	590	798	884	1203	1308	1793	1921	2648	2803
524	594	804	890	1211	1316	1805	1933	2664	2820
528	598	810	896	1218	1324	1816	1945	2681	2837
532	602	816	902	1226	1332	1828	1957	2698	2855
536	606	821	908	1234	1340	1840	1969	2716	2873
540	610	827	914	1242	1349	1851	1981	2733	2891
543	614	833	920	1251	1358	1863	1993	2751	2909
547	618	838	926	1260	1367	1874	2005	2768	2927
551	622	844	932	1268	1376	1887	2018	2786	2945
555	626	850	938	1277	1385	1899	2031	2803	2963
558	630	855	944	1286	1394	1912	2044	2821	2981
562	634	861	950	1294	1403	1925	2057	2838	2999
566	638	867	956	1303	1412	1937	2070	2856	3017
570	642	873	962	1312	1421	1950	2083	2874	3036
573	646	878	968	1320	1430	1962	2096	2893	3055
577	650	884	974	1329	1439	1975	2109	2911	3074
581	654	890	980	1337	1448	1987	2122	2930	3093
585	658	895	986	1346	1457	2000	2135	2948	3112
588	662	901	992	1355	1466	2013	2148	2967	3131
592	666	907	998	1363	1475	2025	2161	2985	3150
597	671	913	1004	1372	1484	2038	2174	3004	3169
602	676	919	1011	1381	1493	2051	2188	3023	3189
606	681	926	1018	1389	1502	2065	2202	3043	3209
611	686	933	1025	1399	1512	2078	2216	3062	3229
616	691	939	1032	1409	1522	2092	2230	3082	3249
620	696	946	1039	1418	1532	2106	2244	3101	3269
625	701	953	1046	1428	1542	2119	2258	3121	3289
630	706	959	1053	1437	1552	2133	2272	3140	3309
635	711	966	1060	1447	1562	2146	2286	3160	3329

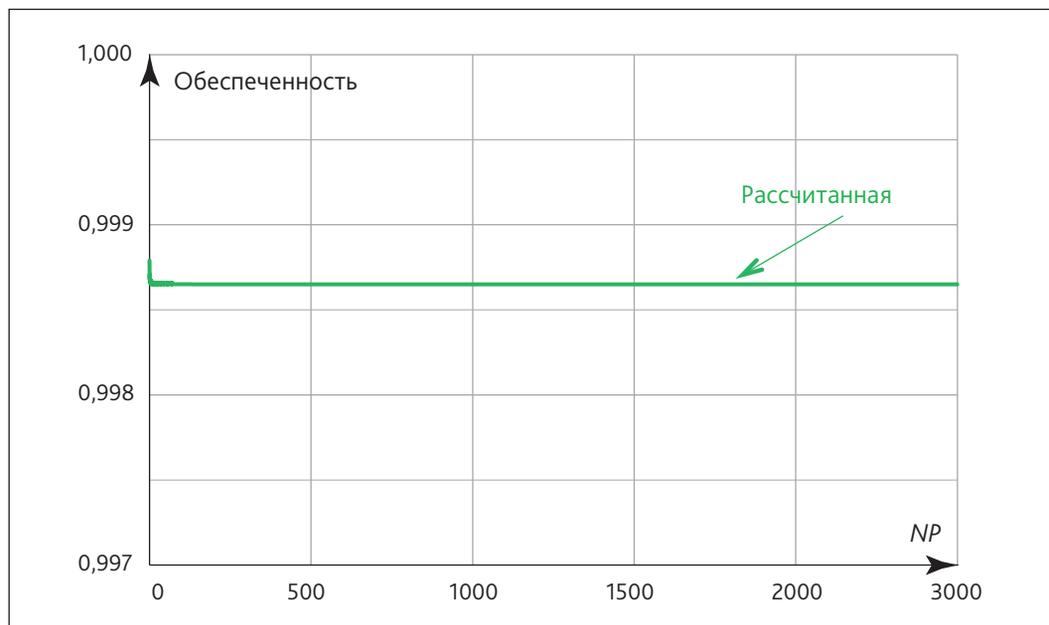


Рис. 2. Фактическая обеспеченность подачи воды (новая методика расчета)

На графике (рис. 2) показана фактическая обеспеченность подачи воды, которая вычислена по формуле (1) на основании данных, приведенных в таблице. Из графика видно, что фактическая обеспеченность подачи воды совпадает с заявленной практически для всех значений математического ожидания количества одновременно включенных приборов NP (за исключением незначительных отклонений при малых значениях NP).

С увеличением величины NP распределение Пуассона приближается к нормальному распределению (распределению Гаусса) с математическим ожиданием NP и среднеквадратичным отклонением $\sigma = \sqrt{NP}$. В этом случае обеспеченность 0,99865 достигается, если величина математического ожидания больше 3σ (правило трех сигм). Поэтому при больших значениях NP количество одновременно действующих приборов с достаточной точностью можно вычислить по формуле

$$m = NP + 3\sqrt{NP} \quad (5)$$

Однако с уменьшением величины NP эта точность снижается. Например, для величины $NP = 13,32$ погрешность при вычислении значения m по формуле (5) составит 3%, а при $NP = 2,56$ погрешность составит 8%. Таким образом, при практических расчетах для объектов с небольшим числом потребителей, значение m , вычисленное по (5), может быть недостаточно точным, что в итоге скажется на качестве водоснабжения.

Покажем на конкретном примере порядок вычисления секундного расхода по старой и предлагаемой (новой) методике.

Пример

Рассчитать максимальный секундный расход горячей воды для жилого здания с числом жителей 563. Норма расхода горячей воды 8,5 л/ч, секундный расход воды эквивалентным прибором 0,2 л/с.

1. Вычисляем значение NP по формуле (2):

$$NP = (8,5 \cdot 563) / (3600 \cdot 0,2) = 6,65.$$

2. Вычисляем значения величин для расчета максимального секундного расхода.

- Старая методика – определение коэффициента α .

Из табл. Б.2 определяем значение α для вычисленного значения NP (так как в таблице нет значения α для $NP = 6,65$ – проводим линейную интерполяцию и получаем: $\alpha = 3,1$).

- Новая методика – определение количества одновременно действующих приборов m .

Из табл. 1 определяем значение m (так как в таблице нет значения m для $NP = 6,65$, выбираем m для ближайшего большего значения NP и получаем: $m = 16$).

3. Вычисляем максимальный секундный расход.

- Старая методика – по формуле (3):

$$q = 5 \cdot 0,2 \cdot 3,1 = 3,1 \text{ л/с.}$$

- Новая методика – по формуле (4):

$$q = 0,2 \cdot 16 = 3,2 \text{ л/с.}$$

Таким образом, значение максимального секундного расхода, рассчитанного по старой методике, оказалось на 3,1 % меньше, чем значение, рассчитанное по новой методике. Это означает, что в часы максимального водозабора фактическая обеспеченность подачи воды будет меньше заявленной, т. е. расход воды будет недостаточным.

Выводы

1. Скорректирована методика расчета максимального секундного расхода воды.
2. Для любого количества (от 1 до 3329) одновременно действующих приборов m рассчитаны соответствующие значения математического ожидания NP . Результаты расчетов сведены в таблицу.
3. Использование новой методики и новых табличных значений величины NP существенно повышает точность расчетов. Заявленная обеспеченность отличается от фактической не более чем на 0,003 %.

4. Исключение из новой методики расчета коэффициента α и использование в расчетах величины m (количества одновременно действующих приборов) упрощает расчет, делает его более понятным и наглядным, что важно при практических инженерных расчетах.

5. При аналогичном количестве значений NP (~600) диапазон значений NP в новой таблице (0–3155) превышает диапазон в существующей таблице (0–2000) в 1,5 раза, что делает вычисления более точными при больших значениях NP .

Литература

1. Самарин О. Д. Использование распределения Пуассона для расчета расхода воды в системах внутреннего водопровода // Сантехника. – 2016. – № 1.
2. СП 30.13330.2016 «СНиП 2.04.01-85* Внутренний водопровод и канализация зданий» (с изменением № 1). М., 2016.



УМНАЯ ВОДА

www.smartwater.su
vopros@smartwater.su

Программа для проектирования систем внутреннего водопровода и канализации зданий



- Расчёт расходов
- Тепловой расчёт
- Спецификация оборудования
- Баланс водопотребления и водоотведения
- Расчёт режима циркуляции
- Аксонометрическая схема
- Гидравлический расчёт
- Настройки балансировочных клапанов
- Подбор насосной установки и многое другое!