

предложенного метода оценки является применимость положений теории пограничного слоя для конкретных гидродинамических условий.

Ближайшей задачей авторы считают рассмотрение применимости предлагаемого подхода в условиях свободной конвекции охлаждаемого влажного воздуха – часто встречающегося варианта тепло- и массообмена в холодильной технике и системах кондиционирования воздуха.

#### Библиография

1. Левин А.Б., Лопатников М.В., Хроменко А.В. Оценка толщины подслоя объемной конденсации внутри ламинарного пограничного слоя при охлаждении влажного воздуха // American Scientific Journal, № (38), Vol.1, 2020. P. 35 – 40.
2. Левин А.Б., Лопатников М.В., Хроменко А.В. Оценка толщины подслоя объемной конденсации внутри турбулентного пограничного слоя при охлаждении влажного воздуха // American Scientific Journal, № (39), Vol.2, 2020. P. 18 – 22.
3. Бурцев С.И., Цветков Ю.Н. Влажный воздух. Состав и свойства: Учеб. Пособие. – СПб.: СПбГАХПТ, 1998. – 146 с.
4. Амелин А.Г. Теоретические основы образования тумана при конденсации пара. Изд.3-е, доп. и перераб., М.: «Химия», 1972, 304 с.

5. Semenov Y. P., Belekov V. A., Dmitro V. A., Levin A.B. Experimental and analytical study of heat and mass transfer by mixed convection from horizontal cylinder to flow of humid air // 6th Int. Congr. of Ch. Engineering, Ch. Equipment design and automation, ChISA, Praha, Czechoslovakia, August 21 – 25, 1978. D1.4

6. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. Перевод с немецкого. – М.: Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», 1969. С.594, 655, 656.

7. Себиси Т., Брэдшоу П. Конвективный теплообмен. Физические основы и математические методы: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – С.120, 122.

8. Лыков А.В. Теплообмен (Справочник). М.: «Энергия», 1971. С. 214 – 217.

9. Теория теплообмена: Учебник для вузов/С.И. Исаев, И.А. Кожин, В.И. Кофанов и др.; под ред. А.И. Леонтьева. – М.: Высшая школа, 1979. С. 223.

10. Государственная система обеспечения единства измерений. Таблицы психрометрические. Построение, содержание, расчетные соотношения. ГОСТ 8.524-85. М.: «Издательство стандартов», 1984. С. 34.

11. Тарабанов М.Г, Коркин В.Д, Сергеев В.Ф. Влажный воздух. АВОК. Справочное пособие – 2004. М.:2004, «НП АВОК», 2004. С. 72.

УДК 681.3.06

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРЯЖЕННОСТЕЙ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ОКРУЖАЮЩЕМ ПРОСТРАНСТВЕ ЧЕТЫРЕХЖИЛЬНЫХ ТРЕХФАЗНЫХ КАБЕЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ УСЛОВИЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И СОВМЕСТИМОСТИ

*Салтыков Алексей*  
кандидат технических наук,  
*Салтыков Валентин*  
доктор технических наук

UDC 681.3.06

#### USE OF THE PROBABILISTIC CHARACTERISTICS OF THE MAGNETIC FIELD STRENGTH IN THE SURROUNDING SPACE OF FOUR-CORE THREE-PHASE CABLES TO ASSESS ELECTROMAGNETIC SAFETY AND COMPATIBILITY CONDITIONS

*Alexey Saltykov*  
PhD in Technical Sciences,  
*Valentin Saltykov*  
Doctor of Technical Sciences

**Аннотация.** Показано использование плотности распределения и вероятностных характеристик суммарных значений напряженностей магнитного поля от токов промышленной частоты в трехфазных четырехжильных кабелях с расположением проводов по квадрату для определения допустимых расстояний до чувствительных к магнитным полям объектов с позиции обеспечения условий электромагнитной безопасности и совместимости.

**Abstract.** The use of distribution density and probabilistic characteristics of total magnetic field voltages from industrial frequency currents in three-phase four-core cables with wire-square arrangement is shown to determine permissible distances to magnetically sensitive objects from the position of ensuring electromagnetic safety and compatibility conditions.

**Ключевые слова:** напряженность магнитного поля промышленной частоты, вероятностные характеристики суммарных значений напряженностей магнитного поля, допустимые расстояния до чувствительных к магнитным полям объектов, электромагнитная безопасность и совместимость.

**Keywords:** industrial frequency magnetic field strength, probabilistic characteristics of total magnetic field

strength values, permissible distances to objects sensitive to magnetic fields, electromagnetic safety, and compatibility.

Для большинства конструкций проводников систем электроснабжения, особенно, выполненных в виде кабелей, при их прокладке трудно определить внутреннее расположение проводников (жил), что приводит к неопределенности значений, создаваемых ими напряженностей магнитного поля промышленной частоты по отношению к заданным контрольным точкам в окружающем пространстве. В условиях неопределенности положения проводов (жил) с током в конструкциях многожильных кабелей и неравномерного характера изменения напряженности магнитного поля вокруг них, для последующего анализа суммарных значений напряженностей магнитного поля в окружающем пространстве, как для отдельных кабелей, так и для их группы, представляется целесообразным использование методов теории вероятностей.

Рассмотрим с позиции теории вероятностей

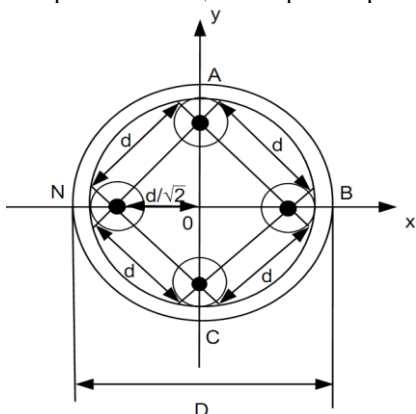


Рис. 1. Геометрическая модель расположения проводов трехфазного четырехжильного (ABCN, кв) кабеля (квадрат) по осям координат прямоугольной системы

характер распределения суммарной напряженности магнитного поля промышленной частоты в окружающем пространстве вокруг трехфазного четырехжильного кабеля с расположением проводов по квадрату.

В частности, как ранее было получено в [1], для трехфазного четырехжильного кабеля (A, B, C, N, кв), геометрическая модель расположения проводов по квадрату имеет вид, показанный на рис. 1, а круговая диаграмма изменения действующих значений суммарной напряженности магнитного поля  $H_{\Sigma}$ , А/м, в окружающем пространстве вокруг трехфазного четырехжильного кабеля (A, B, C, N, кв) с расположением проводов по квадрату для симметричного режима, показана на рис. 2.

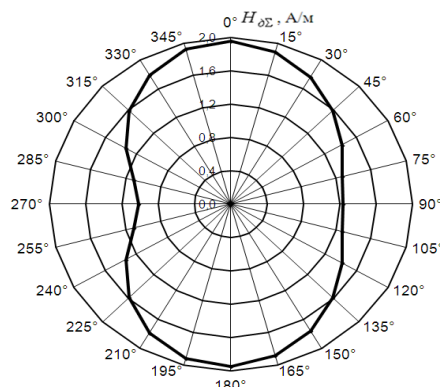


Рис. 2. Круговая диаграмма изменения  $H_{\Sigma}(ABCN, кв)$ , А/м, в окружающем пространстве вокруг трехфазного четырехжильного кабеля (квадрат) с током  $I_0 = 10A$ , при  $d = 0,01m$ ; на расстоянии  $R_{0,i} = 0,1m$  до контрольной точки  $i$

Для случаев неопределенности геометрического расположения проводов (закрытая прокладка) представляется целесообразным представить характер изменения действующих суммарных значений напряженности

магнитного поля  $H_{\Sigma}(ABCN, кв)$ , в пространстве для контрольной точки  $i$ , в функции от угла  $\alpha = 0^0 \dots 360^0$ , как показано на рис. 3.

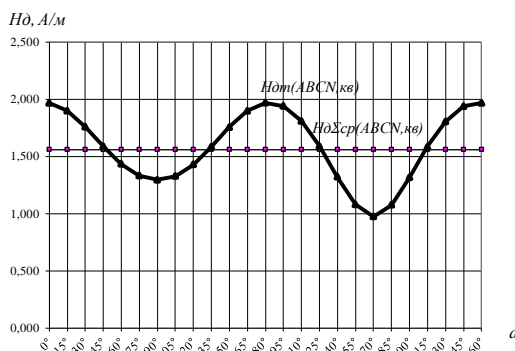


Рис. 3. Характер изменения  $H_{\Sigma}(ABCN, кв)$  от всей поверхности трехфазного четырехжильного кабеля в функции от угла  $\alpha = 0^0 \dots 360^0$

На рис. 3 дополнительно показаны максимальные значения  $H_{\Sigma m}(ABCN, кв)$  и средние значения  $H_{\Sigma ср}(ABCN, кв)$  суммарной напряжённости магнитного поля от трехфазного четырехжильного кабеля с расположением проводов по квадрату, полученные расчетным путем.

Для оценки вероятностных (статистических) характеристик и законов распределения [2] в таблице 1 с учетом характера изменения  $H_{\Sigma}(ABCN, кв)$  вокруг трехфазного четырехжильного провода показано распределение вероятностей  $P_i$ , о.е., по разрядам.

Таблица 1.

**Распределение по разрядам вероятностей  $P_i$ , о.е., действующих значений суммарной напряженности магнитного поля  $H_{\Sigma}(ABCN, кв)$  (при  $I_0 = 10A$ ;  $d = 0,01м$ ;  $R_{0,i} = 0,1м$ ) вокруг трехфазного четырехжильного провода в функции от угла  $\alpha = 0^0 \dots 360^0$**

№	Начало границы разряда, $H_{\Sigma нач}, А/м$	Конец границы разряда, $H_{\Sigma кон}, А/м$	Середина разряда, $H_{\Sigma ср}, А/м$	Частость, $N_i$ , о.е.	Вероятность, $P_i$ , о.е.
1	1,02	1,15	1,08	7	0,10
2	1,15	1,28	1,22	11	0,15
3	1,28	1,42	1,35	10	0,14
4	1,42	1,55	1,48	6	0,08
5	1,55	1,09	1,62	8	0,11
6	1,69	1,82	1,75	10	0,14
7	1,82	1,95	1,89	20	0,28
			$\Sigma$	72	1,00

$H_{\Sigma max}$ .

На основании данных табл. 1 получена гистограмма распределения вероятностей  $P_i$ , о.е., напряженностей  $H_{\Sigma}(ABCN, кв)$ , А/м, по разрядам,

показанная на рис. 4.

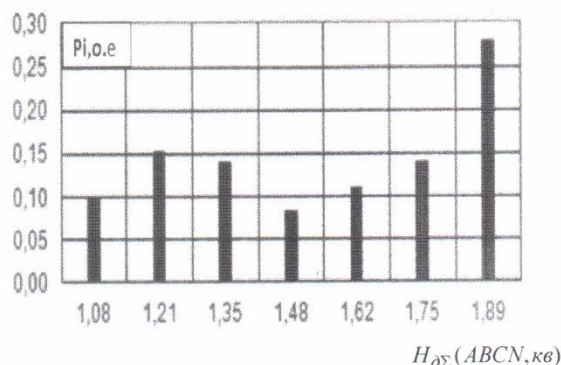


Рис. 4. Гистограмма распределения вероятностей  $P_i$ , о.е., по разрядам напряженностей  $H_{\Sigma}(ABCN, кв)$ , А/м, в окружающем пространстве трехфазного четырехжильного кабеля в плоскости угла  $\alpha = 0^0 \dots 360^0$

Внешний вид гистограммы (рис. 4) позволяет сделать предположение (выдвинуть гипотезу) о возможности описания изменений суммарной напряженности магнитного поля  $H_{\Sigma}(ABCN, кв)$

вокруг трехфазного четырехжильного кабеля для плотности распределения вероятностей  $w(H_{\Sigma})$  в виде одностороннего закона Арксинуса [3]:

$$w(H_{\Sigma}) = \begin{cases} \frac{2}{\pi \cdot \sqrt{H_{\Sigma m}^2 - H_{\Sigma}^2}} & \text{при } 0 \leq H_{\Sigma} \leq H_{\Sigma m} \\ 0 & \text{при } H_{\Sigma} > H_{\Sigma m} \end{cases} \quad (1)$$

Проверка соответствия расчетных значений плотности распределения вероятностей  $P_i$ , о.е., напряженностей  $H_{\Sigma}(ABCN, кв)$ , А/м, вокруг трехфазного четырехжильного кабеля по критерию согласия Пирсона ( $\chi^2$ ) показала, что с доверительной вероятностью 0,95 их можно аппроксимировать предложенным теоретическим

законом одностороннего распределения Арксинуса (1).

Математическое ожидание значений напряженностей  $m(H_{\Sigma ABCN, кв})$ , А/м, вокруг трехфазного четырехжильного провода для предлагаемого закона (1) распределения можно определить следующим образом:

$$m(H_{\Sigma ABCN,кв}) = \int_0^{H_{\Sigma,m}} \frac{2 \cdot H_{\Sigma} \cdot dH_{\Sigma}}{\pi \cdot \sqrt{H_{\Sigma,m}^2 - H_{\Sigma}^2}} = \frac{2}{\pi} \cdot H_{\Sigma,m}(ABCN,кв). \quad (2)$$

Дисперсию значений напряженностей распределения (1) можно определить как разность  $D(H_{\Sigma ABCN,кв})$ ,  $(A/m)^2$ , вокруг трехфазного начального момента второго порядка и квадрата четырехжильного кабеля для предлагаемого закона начального момента первого порядка:

$$D(H_{\Sigma ABCN,кв}) = \int_0^{H_{\Sigma,m}} \frac{2 \cdot H_{\Sigma}^2 \cdot dH_{\Sigma}}{\pi \cdot \sqrt{H_{\Sigma,m}^2 - H_{\Sigma}^2}} - \left[ \frac{2}{\pi} \cdot H_{\Sigma,m} \right]^2 = \\ = \frac{\pi^2 - 8}{2 \cdot \pi^2} \cdot H_{\Sigma,m}^2(ABCN,кв). \quad (3)$$

Среднеквадратичное отклонение значений напряженностей  $\sigma(H_{\Sigma ABCN,кв})$ ,  $A/m$ , вокруг трехфазного четырехжильного провода можно определить следующим образом:

$$\sigma(H_{\Sigma ABCN,кв}) = \sqrt{D(H_{\Sigma ABCN,кв})}. \quad (4)$$

Сравнение рассчитанных по теоретическим формулам (2...4) числовых характеристик распределения (1) значений суммарной напряженности магнитного поля  $H_{\Sigma}(ABCN,кв)$  вокруг трехфазного четырехжильного кабеля с их значениями, полученными при обработке статистических данных, показало достаточную сходимость, при этом погрешность не превышает 8%.

Для определения допустимых расстояний  $d$ ,  $m$ , от центра кабеля до контрольных точек окружающего пространства при оценке выполнений требований по условиям электромагнитной безопасности (ЭМБ) и

$$m(H_{\Sigma ABCN,кв}) \approx H_{\Sigma ср}(ABCN,кв) = \frac{0,98 \cdot I_0 \cdot d}{2 \cdot \pi \cdot R_{0,i}^2}, \quad A/m. \quad (6)$$

Полученные выражения позволяют определить условия электромагнитной безопасности (ЭМБ) и электромагнитной совместимости (ЭМС) по магнитным полям промышленной частоты для одиночных трехфазных четырехжильных  $(ABCN,кв)$  кабелей используемых в офисных (производственных, жилых) помещениях.

Как известно, условия ЭМБ по предельно допустимым уровням магнитных полей промышленной частоты 50 Гц в помещениях жилых, общественных зданий и на сельских территориях, регламентируются требованиями ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07 [4].

В частности, для обслуживающего персонала (ОП) офисных помещений допустимыми являются значения напряженности магнитного поля промышленной частоты:  $A/m$ .

Кроме этого, в офисных зданиях действует ГОСТ Р 51317.6.1 – 2006 (МЭК 61000-6-1:2005) [5], регламентирующий условия ЭМС, т.е. условия устойчивости к электромагнитным помехам технических средств (ТС), применяемых в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением. В частности, в

электромагнитной совместимости (ЭМС) целесообразно воспользоваться выражениями, определяющими как максимальные действующие значения суммарной напряженности магнитного поля  $H_{\Sigma m}(ABCN,кв)$ ,  $A/m$ , от трехфазного четырехжильного кабеля с расположением проводов по квадрату в окружающем пространстве [1]:

$$H_{\Sigma m}(ABCN,кв) = \frac{1,224 \cdot I_0 \cdot d}{2 \cdot \pi \cdot R_{0,i}^2}, \quad A/m, \quad (5)$$

где  $I_0$  - действующее значение тока,  $A$ ;  $d$  - расстояния между центрами проводов кабеля,  $m$ ;  $R_{0,i}$  - расстояния между контрольной точкой  $i$  окружающего пространства и центром  $O$  кабеля,  $m$ , так и средние значения  $H_{\Sigma ср}(ABCN,кв)$ ,  $A/m$ , примерно, равные значению математического ожидания  $m(H_{\Sigma ABCN,кв})$ ,  $A/m$ , полученные расчетным путем:

соответствии с требованиями ГОСТ Р 51317.6.1–2006 (МЭК 61000–6–1: 2005) значения напряженности магнитного поля промышленной частоты 50 Гц на порте корпуса технических средств (ТС), применяемых в офисных (производственных) зданиях и помещениях не должны быть более:  $A/m$ .

Следует отметить, что соответствие нормируемым значениям ЭМБ -  $A/m$  и ЭМС -  $A/m$  определяются на принятом от источника расстоянии:  $H_{50 Гц, ОП, доп} \leq 4 A/m$ .

При этом, при известных конструктивных характеристиках проводов (кабелей), допустимые расстояния до контролируемого (нормируемого) объекта для обеспечения нормируемых значений напряженности магнитного поля промышленной частоты 50 Гц могут быть определены по аналитическим выражениям.

В частности, для трехфазных четырехжильных  $(ABCN,кв)$  кабелей (проводов) при симметричных режимах нагрузки по выражениям:

1) для обслуживающего персонала (ОП) офисных помещений по условиям ЭМБ при  $H_{50 Гц, ОП, доп} \leq 4 A/m$ :

а) по максимальным значениям:

$$R_{0,i, H_{\Sigma max}}(H_{50 Гц, ОП, доп}) \geq \sqrt{\frac{1,224 \cdot I_0 \cdot d}{2 \cdot \pi \cdot H_{\Sigma max}(ABCN,кв)}} = 0,22 \sqrt{I_0 \cdot d}, \quad m, \quad (7)$$

б) по значениям математического ожидания:

$$R_{0,i,m(H_{\partial\Sigma,AN})}(H_{50Гц,ОП,дон}) \geq \sqrt{\frac{0,98 \cdot I_{\partial} \cdot d}{2 \cdot \pi \cdot m(H_{\partial\Sigma,ABCN,кв}) = 4A/м}} = 0,197\sqrt{I_{\partial} \cdot d}, \text{ м}, \quad (8)$$

2) для технических средств (ТС) офисных помещений по условиям ЭМС при  $H_{50Гц,ТС,дон} \leq 3A/м$ :  
 а) по максимальным значениям:

$$R_{0,i,H_{\partial\Sigma\max}}(H_{50Гц,ТС,дон}) \geq \sqrt{\frac{1,224 \cdot I_{\partial} \cdot d}{2 \cdot \pi \cdot H_{\partial\Sigma\max}(ABCN,кв) = 3A/м}} = 0,254\sqrt{I_{\partial} \cdot d}, \text{ м}, \quad (9)$$

б) по значениям математического ожидания:

$$R_{0,i,m(H_{\partial\Sigma,AN})}(H_{50Гц,ТС,дон}) \geq \sqrt{\frac{0,98 \cdot I_{\partial} \cdot d}{2 \cdot \pi \cdot m(H_{\partial\Sigma,ABCN,кв}) = 3A/м}} = 0,223\sqrt{I_{\partial} \cdot d}, \text{ м}, \quad (10)$$

В частности, для ряда конструкций трехфазных четырехжильных кабелей (проводов) с расположением жил по квадрату с учетом их сечений (расстояний между жилами) и допустимых для них токов, условия ЭМБ и ЭМС по магнитным

полям промышленной частоты в виде допустимых расстояний до контролируемого (нормируемого) объекта  $R_{0,i,дон}$ , м, приведены в таблице 2.

Таблица 2.

**Допустимые расстояния до контролируемого (нормируемого) объекта при выполнении условий ЭМБ и ЭМС по магнитным полям промышленной частоты  $H_{50Гц,дон}$  А/м, для трехфазных четырехжильных кабелей с расположением проводников по квадрату**

Сечение жилы провода (кабеля), $s$ , мм <sup>2</sup>	Расстояние между центрами проводов, $d$ , м	Номинальный ток, $I_{дон}$ , А	Допустимые расстояния $R_{0,i,дон}$ , м <sup>2</sup> до контролируемого (нормируемого) объекта по условиям ЭМБ и ЭМС			
			Для ОП по ГН 2.1.8/2.2.4.2262 при $H_{50Гц,ОП,дон} \leq 4A/м$		Для ТС по ГОСТ Р 51317.6.1-2006 при $H_{50Гц,ТС,дон} \leq 3A/м$	
			для $H_{\partial\Sigma\max}$	для $m(H_{\partial\Sigma})$	для $H_{\partial\Sigma\max}$	для $m(H_{\partial\Sigma})$
			$R_{0,i,дон}$	$R_{0,i,дон}$ м	$R_{0,i,дон}$ м	$R_{0,i,дон}$ м
2,5	0,00276	30	0,063	0,057	0,073	0,064
4	0,00324	41	0,080	0,072	0,093	0,081
6	0,00373	50	0,095	0,085	0,110	0,096
10	0,00555	80	0,147	0,131	0,169	0,149
16	0,0065	100	0,177	0,159	0,205	0,180
25	0,0076	140	0,227	0,203	0,262	0,230
35	0,0086	170	0,266	0,238	0,307	0,269
50	0,0120	215	0,353	0,316	0,408	0,358
70	0,01365	270	0,422	0,378	<b>0,488</b>	0,428
95	0,01555	330	<b>0,498</b>	0,446	0,575	<b>0,505</b>
120	0,0177	385	0,575	<b>0,514</b>	0,663	0,582
150	0,0197	440	0,648	0,580	0,748	0,656
185	0,0203	510	0,708	0,634	0,817	0,717
240	0,0214	605	0,792	0,709	0,914	0,802
300	0,0235	695	0,889	0,796	1,026	0,901
400	0,0265	830	1,032	0,924	1,191	1,046

Из табл. 2 следует, что для обеспечения условий ЭМБ и ЭМС по напряженности магнитного поля промышленной частоты в окружающем пространстве на расстоянии  $R_{0,i,дон} = 0,5$  м от одиночных трехфазных четырехжильных (ABCN,кв) кабелей (проводов) с расположением жил по квадрату, в частности, по значениям математического ожидания

$m(H_{\partial\Sigma,ABCN,кв})$ , А/м, (в случаях неопределенности расположения жил), допускается использование: по требованиям ГН 2.1.8/2.2.4.2262 для ОП - кабелей с сечением  $s_{дон} 120$  мм<sup>2</sup> с током  $I_{дон} 385$  А; по требованиям ГОСТ Р 51317.6.1-2006 на порте корпуса технических средств (ТС), применяемых в офисных (производственных) зданиях и помещениях, - кабелей с сечением  $s_{дон} 95$  мм<sup>2</sup> с

током  $I_{дон}$  330 А.

Сечение жилы провода (кабеля), $s$ , мм <sup>2</sup>	Расстояние между центрами проводов, $d$ , м	Номинальный ток, $I_{дон}$ , А	Допустимые расстояния $R_{0,i,дон}$ , м <sup>2</sup> до контролируемого (нормируемого) объекта по условиям ЭМБ и ЭМС			
			Для ОП по ГН 2.1.8/2.2.4.2262 при $H_{50Гц, ОП, дон} \leq 4A/м$		Для ТС по ГОСТ Р 51317.6.1-2006 при $H_{50Гц, ТС, дон} \leq 3A/м$	
			для $H_{\partial\Sigma} \max$	для $m(H_{\partial\Sigma})$	для $H_{\partial\Sigma} \max$	для $m(H_{\partial\Sigma})$
			$R_{0,i,дон}$ м	$R_{0,i,дон}$ м	$R_{0,i,дон}$ м	$R_{0,i,дон}$ м
2,5	0,00276	30	0,063	0,057	0,073	0,064
4	0,00324	41	0,080	0,072	0,093	0,081
6	0,00373	50	0,095	0,085	0,110	0,096
10	0,00555	80	0,147	0,131	0,169	0,149
16	0,0065	100	0,177	0,159	0,205	0,180
25	0,0076	140	0,227	0,203	0,262	0,230
35	0,0086	170	0,266	0,238	0,307	0,269
50	0,0120	215	0,353	0,316	0,408	0,358
70	0,01365	270	0,422	0,378	<b>0,488</b>	0,428
95	0,01555	330	<b>0,498</b>	0,446	0,575	<b>0,505</b>
120	0,0177	385	0,575	<b>0,514</b>	0,663	0,582
150	0,0197	440	0,648	0,580	0,748	0,656
185	0,0203	510	0,708	0,634	0,817	0,717
240	0,0214	605	0,792	0,709	0,914	0,802
300	0,0235	695	0,889	0,796	1,026	0,901
400	0,0265	830	1,032	0,924	1,191	1,046

Дополнительно, следует отметить, что в системах электроснабжения офисных (многоэтажных) зданиях передача электроэнергии от центрального распределительного пункта здания (иногда трансформаторной подстанции) выполняется группой кабелей низкого напряжения (0,4 кВ), как правило, четырехжильными. При этом, кабели, в основном, прокладываются в кабельных каналах, закрепляясь по стенкам канала в ряд или

собираясь в пучки, что приводит к значительным по величине напряженностям магнитного поля промышленной частоты.

В частности, для определения общих значений напряженностей магнитного поля от группы кабелей, расположенных в ряд, как показано на рис. 5, можно использовать метод сложения математических ожиданий, создаваемых каждым кабелем,

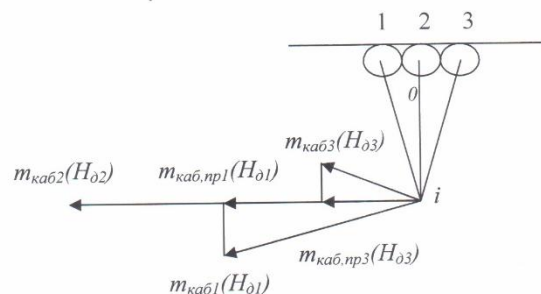


Рис. 5. Сложение математических ожиданий напряженности магнитного поля промышленной частоты от отдельных кабелей  $R_{0,i,дон}$ , А/м, в контрольную точку пространства  $i$

и приведенных к вектору центрального кабеля по выражению:

$$m_{общ,каб,i}(H_{\partial,i}) = m_{каб2}(H_{\partial2}) + m_{каб,пр1}(H_{\partial1}) + m_{каб,пр3}(H_{\partial3}) \quad (11)$$

Аналогичным способом можно выполнить сложения значений дисперсий напряженностей магнитного поля от каждого из кабелей.

При этом, на основании полной теории вероятностей [2] при большом количестве "излучающих" кабелей закон распределения общей суммарной напряженности магнитного поля промышленной частоты будет стремиться к смещенному нормальному закону.

Представленные аналитические выражения и результаты расчетов, показанные в табл. 2, позволяют оценивать условия ЭМБ для обслуживающего персонала (ОП) и условия ЭМС для технических средств (ТС) по магнитным полям промышленной частоты в окружающем пространстве вокруг трехфазных четырехжильных ( $ABCN, kv$ ) кабелей систем электроснабжения офисных, жилых, производственных помещений, позволяют учитывать их при анализе существующей электромагнитной обстановки в офисных и жилых помещениях, а также при проектировании систем электроснабжения.

#### Литература

1. V.Saltykov, A.Saltykov. Determining Permissible Values of Magnetic Field Intensity from

Electric Circuit Wires and EMF Study Results. – Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2015. 95 с.

2. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. - М.: Изд-во "Наука", 1969, 576 с.

3. Примеры и задачи по статистической радиотехнике // В.Т. Горяинов, А.Г. Журавлев, В.И. Тихонов. Под общей редакцией проф. В.И. Тихонова. – М.: Изд-во "Советское радио", 1970. 600 с.

4. Гигиенический норматив ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07. Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц в помещениях жилых, общественных зданий и на селитебных территориях. Утверждено от 21.08.2007г., № 60.

5. ГОСТ Р 51317.6.1–2006 (МЭК 61000–6–1: 2005). Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в жилых, коммерческих зонах и производственных зонах с малым энергопотреблением. Требования и методы испытаний. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2006.