

УДК 622.692.4

ПОСТРОЕНИЕ ПОЛЕЙ ИНДИВИДУАЛЬНОГО РИСКА ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

канд. техн. наук А.Г. КУЛЬБЕЙ, И.А. ЛЕОНОВИЧ
(Полоцкий государственный университет)

Рассмотрены вопросы визуализации расчетов и построение полей риска на основе генплана промышленного объекта с применением общедоступного программного обеспечения. Расчет индивидуального риска и вероятности поражения персонала – важный этап оценки безопасности промышленного объекта в целом и разработки декларации безопасности промышленного объекта в частности. Предложена методика определения и построения полей суммарного индивидуального риска для промышленных объектов, которая позволяет проанализировать значение суммарного индивидуального риска для каждой точки территории объекта, определить участки территории с наибольшим и наименьшим индивидуальным риском, а также визуализировать поле индивидуального риска, наглядно представить и соотнести риск с местоположением на территории промышленного объекта.

Введение. На производственных объектах трубопроводного транспорта хранятся и транспортируются опасные вещества (легковоспламеняющиеся жидкости, горючие газы и т.д.), которые в результате аварийной разгерметизации технологического оборудования могут произвести негативное воздействие на обслуживающий персонал, поэтому задача обеспечения надежности эксплуатации производственных объектов не утрачивает своей актуальности. Оценка безопасности производственного объекта традиционно осуществляется путем расчета индивидуального риска для персонала и базируется на методиках, приведенных в НПБ 5-2005 и ТКП 474-2013.

Методика расчета индивидуального риска основывается на нахождении вероятности поражения человека, рабочее место которого располагается на определенном удалении от эпицентра развития определенного сценария возможной аварии. Любой промышленный объект имеет достаточно большое количество оборудования, которое может быть источником сразу нескольких возможных сценариев развития аварии. Большое количество аварийно-опасных объектов и наличие нескольких сценариев развития аварий для одного и того же объекта создает сложности для определения индивидуального риска для персонала от всех аварий на опасном промышленном объекте. Также количество необходимых расчетов значительно увеличивается по мере роста численности персонала промышленного объекта.

Основная часть. Существенным недостатком существующей методики расчета индивидуального риска, на наш взгляд, является то, что вероятность поражения, а следовательно, и индивидуальный риск персонала основываются на предположении, что персонал постоянно находится на рабочем месте, хотя некоторое рабочее время персонал проводит вне рабочего места, особенно специалисты, связанные с осмотром и ремонтом оборудования. Для исключения недостатков метода определения индивидуального риска оптимальным является *построение полей суммарного индивидуального риска для всей территории промышленного объекта*. Такой метод позволит оценить риск персонала независимо от их рабочего места, выделить зоны с максимальными и минимальными значениями индивидуального риска, основываясь на которых можно принимать решения о расположении дополнительных защитных сооружений и убежищ на территории промышленного объекта. Авторами осуществлено введение в методику расчета уточняющего полинома по приведению дискретных значений «пробит»-функции к функциональной зависимости, позволяющей автоматизировать процесс вычислений вероятностей возможного поражения персонала производственного объекта.

Сущность предлагаемого метода состоит в построении расчетной сетки с определенным шагом, которая полностью перекрывает территорию предприятия (рис. 1).

Выбор шага и конфигурация расчетной сетки зависит от общей площади объекта и его расположения на местности. Чем меньше шаг сетки, тем больше расчетов будет необходимо. Расчетная сетка с большим шагом 15...20 м подходит для крупных объектов со значительной площадью, а шаг 5...10 м – для небольших промышленных объектов, с небольшим предполагаемым ущербом от возможных сценариев аварий. Если необходимо детально, с большой точностью, определить значения индивидуального риска для любой точки территории промышленного объекта, необходимо выбирать шаг сетки равный 1...5 м.

Следующим этапом построения поля индивидуального риска является *позиционирование эпицентра развития возможного сценария аварии относительно расчетной сетки* (рис. 2, 3). Расчет выполнен в программной среде Microsoft Excel. Сущностью позиционирования эпицентра аварии относительно расчетной сетки является определение расстояния от эпицентра до каждой точки рабочей сетки, образованной пересечением её прямых. Полученные значения этих расстояний являются основой для всех дальнейших расчетов.



Рис. 1. Расчетная сетка с шагом 10 м

147,65	143,18	139,28	136,01	133,42	131,53	130,38	130	130,38	131,53	133,42	136,01	139,28	143,18	147,65
138,92	134,16	130,00	126,49	123,69	121,66	120,42	120	120,42	121,66	123,69	126,49	130,00	134,16	138,92
130,38	125,30	120,83	117,05	114,02	111,80	110,45	110	110,45	111,80	114,02	117,05	120,83	125,30	130,38
122,07	116,62	111,80	107,70	104,40	101,98	100,50	100	100,50	101,98	104,40	107,70	111,80	116,62	122,07
114,02	108,17	102,96	98,49	94,87	92,20	90,55	90	90,55	92,20	94,87	98,49	102,96	108,17	114,02
106,30	100,00	94,34	89,44	85,44	82,46	80,62	80	80,62	82,46	85,44	89,44	94,34	100,00	106,30
98,99	92,20	86,02	80,62	76,16	72,80	70,71	70	70,71	72,80	76,16	80,62	86,02	92,20	98,99
92,20	84,85	78,10	72,11	67,08	63,25	60,83	60	60,83	63,25	67,08	72,11	78,10	84,85	92,20
86,02	78,10	70,71	64,03	58,31	53,85	50,99	50	50,99	53,85	58,31	64,03	70,71	78,10	86,02
80,62	72,11	64,03	56,57	50,00	44,72	41,23	40	41,23	44,72	50,00	56,57	64,03	72,11	80,62
76,16	67,08	58,31	50,00	42,43	36,06	31,62	30	31,62	36,06	42,43	50,00	58,31	67,08	76,16
72,80	63,25	53,85	44,72	36,06	28,28	22,36	20	22,36	28,28	36,06	44,72	53,85	63,25	72,80
70,71	60,83	50,99	41,23	31,62	22,36	14,14	10	14,14	22,36	31,62	41,23	50,99	60,83	70,71
70	60	50	40	30	20	10	0	10	20	30	40	50	60	70
70,71	60,83	50,99	41,23	31,62	22,36	14,14	10	14,14	22,36	31,62	41,23	50,99	60,83	70,71
72,80	63,25	53,85	44,72	36,06	28,28	22,36	20	22,36	28,28	36,06	44,72	53,85	63,25	72,80
76,16	67,08	58,31	50,00	42,43	36,06	31,62	30	31,62	36,06	42,43	50,00	58,31	67,08	76,16
80,62	72,11	64,03	56,57	50,00	44,72	41,23	40	41,23	44,72	50,00	56,57	64,03	72,11	80,62
86,02	78,10	70,71	64,03	58,31	53,85	50,99	50	50,99	53,85	58,31	64,03	70,71	78,10	86,02
92,20	84,85	78,10	72,11	67,08	63,25	60,83	60	60,83	63,25	67,08	72,11	78,10	84,85	92,20
98,99	92,20	86,02	80,62	76,16	72,80	70,71	70	70,71	72,80	76,16	80,62	86,02	92,20	98,99
106,30	100,00	94,34	89,44	85,44	82,46	80,62	80	80,62	82,46	85,44	89,44	94,34	100,00	106,30
114,02	108,17	102,96	98,49	94,87	92,20	90,55	90	90,55	92,20	94,87	98,49	102,96	108,17	114,02
122,07	116,62	111,80	107,70	104,40	101,98	100,50	100	100,50	101,98	104,40	107,70	111,80	116,62	122,07
130,38	125,30	120,83	117,05	114,02	111,80	110,45	110	110,45	111,80	114,02	117,05	120,83	125,30	130,38
138,92	134,16	130,00	126,49	123,69	121,66	120,42	120	120,42	121,66	123,69	126,49	130,00	134,16	138,92
147,65	143,18	139,28	136,01	133,42	131,53	130,38	130	130,38	131,53	133,42	136,01	139,28	143,18	147,65
156,52	152,32	148,66	145,60	143,18	141,42	140,36	140	140,36	141,42	143,18	145,60	148,66	152,32	156,52
y19	y20	y21	y22	y23	y24	y25	y26	y27	y28	y29	y30	y31	y32	y33

Рис. 2. Расстояние от пересечений сетки до эпицентра развития сценария

-1,03	-0,62	-0,32	-0,09	0,07	0,18	0,24	0,26	0,24	0,18	0,07	-0,09	-0,32	-0,62	-1,03
-0,04	0,24	0,44	0,59	0,69	0,76	0,80	0,81	0,80	0,76	0,69	0,59	0,44	0,24	-0,04
0,59	0,78	0,91	1,01	1,08	1,13	1,15	1,16	1,15	1,13	1,08	1,01	0,91	0,78	0,59
0,99	1,12	1,22	1,31	1,38	1,44	1,48	1,49	1,48	1,44	1,38	1,31	1,22	1,12	0,99
1,27	1,41	1,54	1,68	1,81	1,92	1,99	2,01	1,99	1,92	1,81	1,68	1,54	1,41	1,27
1,59	1,81	2,07	2,33	2,59	2,80	2,94	2,99	2,94	2,80	2,59	2,33	2,07	1,81	1,59
2,09	2,51	2,99	3,50	3,98	4,38	4,64	4,74	4,64	4,38	3,98	3,50	2,99	2,51	2,09
2,94	3,70	4,55	5,45	6,29	6,98	7,44	7,59	7,44	6,98	6,29	5,45	4,55	3,70	2,94
4,30	5,56	6,98	8,45	9,83	10,96	11,71	11,97	11,71	10,96	9,83	8,45	6,98	5,56	4,30
6,29	8,27	10,49	12,79	14,95	16,72	17,89	18,30	17,89	16,72	14,95	12,79	10,49	8,27	6,29
9,01	11,97	15,28	18,72	21,95	24,62	26,39	27,01	26,39	24,62	21,95	18,72	15,28	11,97	9,01
12,51	16,72	21,45	26,39	31,07	34,95	37,53	38,44	37,53	34,95	31,07	26,39	21,45	16,72	12,51
16,72	22,46	28,96	35,79	42,31	47,76	51,38	52,66	51,38	47,76	42,31	35,79	28,96	22,46	16,72
21,45	28,96	37,53	46,61	55,31	62,56	67,35	69,02	67,35	62,56	55,31	46,61	37,53	28,96	21,45
26,39	35,79	46,61	58,10	69,02	77,87	83,44	85,30	83,44	77,87	69,02	58,10	46,61	35,79	26,39
31,07	42,31	55,31	69,02	81,58	90,64	95,06	96,10	95,06	90,64	81,58	69,02	55,31	42,31	31,07
34,95	47,76	62,56	77,87	90,64	96,82	96,39	95,96	96,39	96,82	90,64	77,87	62,56	47,76	34,95
37,53	51,38	67,35	83,44	95,06	96,39	113,6	220,8	113,6	96,39	95,06	83,44	67,35	51,38	37,53
38,44	52,66	69,02	85,30	96,10	95,96	220,8		220,8	95,96	96,10	85,30	69,02	52,66	38,44
37,53	51,38	67,35	83,44	95,06	96,39	113,6	220,8	113,6	96,39	95,06	83,44	67,35	51,38	37,53
34,95	47,76	62,56	77,87	90,64	96,82	96,39	95,96	96,39	96,82	90,64	77,87	62,56	47,76	34,95
31,07	42,31	55,31	69,02	81,58	90,64	95,06	96,10	95,06	90,64	81,58	69,02	55,31	42,31	31,07
26,39	35,79	46,61	58,10	69,02	77,87	83,44	85,30	83,44	77,87	69,02	58,10	46,61	35,79	26,39
21,45	28,96	37,53	46,61	55,31	62,56	67,35	69,02	67,35	62,56	55,31	46,61	37,53	28,96	21,45
16,72	22,46	28,96	35,79	42,31	47,76	51,38	52,66	51,38	47,76	42,31	35,79	28,96	22,46	16,72
12,51	16,72	21,45	26,39	31,07	34,95	37,53	38,44	37,53	34,95	31,07	26,39	21,45	16,72	12,51
9,01	11,97	15,28	18,72	21,95	24,62	26,39	27,01	26,39	24,62	21,95	18,72	15,28	11,97	9,01
6,29	8,27	10,49	12,79	14,95	16,72	17,89	18,30	17,89	16,72	14,95	12,79	10,49	8,27	6,29
4,30	5,56	6,98	8,45	9,83	10,96	11,71	11,97	11,71	10,96	9,83	8,45	6,98	5,56	4,30
2,94	3,70	4,55	5,45	6,29	6,98	7,44	7,59	7,44	6,98	6,29	5,45	4,55	3,70	2,94
2,09	2,51	2,99	3,50	3,98	4,38	4,64	4,74	4,64	4,38	3,98	3,50	2,99	2,51	2,09
1,59	1,81	2,07	2,33	2,59	2,80	2,94	2,99	2,94	2,80	2,59	2,33	2,07	1,81	1,59
1,27	1,41	1,54	1,68	1,81	1,92	1,99	2,01	1,99	1,92	1,81	1,68	1,54	1,41	1,27

Рис. 3. Значение вероятности поражения персонала

Основываясь на известных расстояниях до каждой точки сетки (см. рис. 1), можно согласно методике [1] определить значение вероятности поражения персонала для каждой точки расчетной сетки. Первым этапом расчета является определение перепада давления согласно следующей формуле:

$$\Delta P = P_0 \left(0,8 \cdot \frac{m_{np}^{0,33}}{r} + 3 \cdot \frac{m_{np}^{0,66}}{r^2} + 5 \cdot \frac{m_{np}}{r^3} \right), \quad (1)$$

где P_0 – атмосферное давление, кПа (допускается принимать равным 101 кПа); r – расстояние от геометрического центра газопаровоздушного облака, м; m_{np} – приведенная масса газа или пара, кг.

Применение данной формулы основывается на известном постоянном значении приведенной массы газопаровоздушной смеси, а также известном расстоянии до эпицентра взрыва, однако для построения полей риска необходимо провести данный расчет для каждой точки расчетной сетки. Количество необходимых расчетов крайне велико, поэтому расчет ведется в табличном виде Microsoft Excel.

Вторым этапом расчета является **определение импульса волны давления i** , который вычисляется согласно выражению (2):

$$i = 123 \cdot \frac{m_{np}^{0,66}}{r}, \text{ Па}\cdot\text{с}. \quad (2)$$

Расчет импульса волны давления также ведется на основе таблицы расстояний до точек расчетной сетки, итогом расчета является таблица значений импульса в каждой точке расчетной сетки.

Третий этап расчета – **определение величины «пробит»-функции** на основе определенных значений перепада давления и импульса волны давления по формуле

$$P_r = 5 - 0,26 \ln(V), \quad (3)$$

$$\text{где } \ln(V) = \left(\frac{17500}{\Delta P} \right)^{8,4} + \left(\frac{290}{i} \right)^{9,3}.$$

Расчет «пробит»-функции ведется в табличном виде для всех точек расчетной сетки. Одной из особенностей методики определения вероятности поражения персонала [1] является то, что зависимость вероятности поражения персонала от значения «пробит»-функции представлена в табличном виде (табл. 1).

Таблица 1

Величина условной вероятности поражения человека в зависимости от величины «пробит-функции»

Условная вероятность поражения, %	Величина P_T									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	–	2,67	2,95	3,12	3,25	3,36	3,45	3,52	3,59	3,66
10	3,72	3,77	3,82	3,9	3,92	3,96	4,01	4,05	4,08	4,12
20	4,16	4,19	4,23	4,26	4,29	4,33	4,36	4,39	4,42	4,45
30	4,48	4,5	4,53	4,56	4,59	4,61	4,64	4,67	4,69	4,72
40	4,75	4,77	4,8	4,82	4,85	4,87	4,9	4,92	4,95	4,97
50	5	5,03	5,05	5,08	5,1	5,13	5,15	5,18	5,2	5,23
60	5,25	5,28	5,31	5,33	5,36	5,39	5,41	5,44	5,47	5,5
70	5,52	5,55	5,58	5,61	5,64	5,67	5,71	5,74	5,77	5,81
80	5,84	5,88	5,92	5,95	5,99	6,04	6,08	6,13	6,18	6,23
90	6,28	6,34	6,41	6,48	6,55	6,64	6,75	6,88	7,05	7,33
99	7,33	7,37	7,41	7,46	7,51	7,58	7,65	7,75	7,88	8,09

Для дальнейшего расчета табличную зависимость, по нашему мнению, необходимо представить в виде эмпирической формулы, полинома n -й степени.

Результаты, полученные с использованием аппроксимирующей зависимости полиномов 5-й и 6-й степени, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение аппроксимирующих полиномов с табличным значением

Табличная вероятность поражения, %	Значение «пробит»-функции	Полином 6-й степени			Полином 5-й степени		
		вероятность поражения, %	отклонение от табличного значения	отклонение от табличного значения, %	вероятность поражения, %	отклонение от табличного значения	отклонение от табличного значения, %
1,0	2,67	0,87	0,13	12,90	1,13	-0,13	-13,43
5,0	3,36	5,32	-0,32	-6,47	4,42	0,58	11,59
10,0	3,72	9,65	0,35	3,53	9,63	0,37	3,67
15,0	3,96	14,53	0,47	3,12	14,84	0,16	1,08
20,0	4,16	19,85	0,15	0,77	20,19	-0,19	-0,93
25,0	4,33	25,15	-0,15	-0,62	25,38	-0,38	-1,51
30,0	4,48	30,35	-0,35	-1,16	30,38	-0,38	-1,25
35,0	4,61	35,15	-0,15	-0,43	34,97	0,03	0,10
40,0	4,75	40,56	-0,56	-1,40	40,12	-0,12	-0,29
45,0	4,87	45,32	-0,32	-0,71	44,65	0,35	0,79
50,0	5,00	50,54	-0,54	-1,07	49,62	0,38	0,76
55,0	5,13	55,75	-0,75	-1,36	54,60	0,40	0,72
60,0	5,25	60,49	-0,49	-0,81	59,15	0,85	1,41
65,0	5,39	65,87	-0,87	-1,33	64,34	0,66	1,01
70,0	5,52	70,66	-0,66	-0,94	68,99	1,01	1,45
75,0	5,67	75,88	-0,88	-1,17	74,06	0,94	1,26
80,0	5,84	81,32	-1,32	-1,65	79,33	0,67	0,84
85,0	6,04	86,98	-1,98	-2,33	84,77	0,23	0,27
90,0	6,28	92,68	-2,68	-2,98	90,05	-0,05	-0,05
95,0	6,64	99,03	-4,03	-4,24	95,16	-0,16	-0,16
99,0	7,33	106,04	-7,04	-7,12	96,77	2,23	2,25
99,9	8,09	113,49	-13,59	-13,61	98,09	1,81	1,81

Анализируя значения вероятности поражения персонала (см. табл. 2), можно сделать вывод о том, что полином 5-й степени является более точным и пригодным для дальнейшего использования.

Аппроксимирующая зависимость представлена в виде следующей формулы:

$$y = 0,2529x^5 - 6,3903x^4 + 59,921x^3 - 256,15x^2 + 510,63x - 386,28. \quad (4)$$

Следующим этапом является **расчет вероятности поражения персонала** (см. рис. 3), применяя формулу (4), для каждого значения расчетной сетки. Из-за использования аппроксимирующей функции будут располагаться две области с аномальными значениями вероятности поражения персонала. Первая область расположена вокруг эпицентра, значение вероятности поражения в этой области превышает 100 %. Однако для дальнейшего расчета все значения в этой области необходимо сделать равными 100 %. Вторая область расположена на значительном удалении от эпицентра, значение вероятности поражения в этой области меньше 1, а при дальнейшем удалении меньше 0. Так как возможное минимальное значение вероятности поражения составляет 1 % (см. табл. 1), то все значения вероятности меньше 1 % равны нулю.

Для расчета индивидуального риска персонала необходимо значение вероятности поражения персонала умножить на значение вероятности появления определенного сценария аварии. Таблица индивидуального риска представлена на рисунке 4.

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	2,16E-11	2,32E-11	2,42E-11	2,48E-11	2,5E-11	2,48E-11	2,42E-11	2,32E-11	2,16E-11	0	0
2,63E-11	2,82E-11	2,98E-11	3,1E-11	3,18E-11	3,21E-11	3,18E-11	3,1E-11	2,98E-11	2,82E-11	2,63E-11	2,63E-11
3,32E-11	3,62E-11	3,9E-11	4,13E-11	4,28E-11	4,33E-11	4,28E-11	4,13E-11	3,9E-11	3,62E-11	3,32E-11	3,32E-11
4,44E-11	5,02E-11	5,57E-11	6,03E-11	6,33E-11	6,44E-11	6,33E-11	6,03E-11	5,57E-11	5,02E-11	4,44E-11	4,44E-11
6,44E-11	7,53E-11	8,56E-11	9,42E-11	9,98E-11	1,02E-10	9,98E-11	9,42E-11	8,56E-11	7,53E-11	6,44E-11	6,44E-11
9,79E-11	1,17E-10	1,35E-10	1,5E-10	1,6E-10	1,63E-10	1,6E-10	1,5E-10	1,35E-10	1,17E-10	9,79E-11	9,79E-11
1,5E-10	1,82E-10	2,11E-10	2,36E-10	2,52E-10	2,57E-10	2,52E-10	2,36E-10	2,11E-10	1,82E-10	1,5E-10	1,5E-10
2,26E-10	2,75E-10	3,21E-10	3,59E-10	3,85E-10	3,93E-10	3,85E-10	3,59E-10	3,21E-10	2,75E-10	2,26E-10	2,26E-10
3,29E-10	4,02E-10	4,72E-10	5,29E-10	5,67E-10	5,81E-10	5,67E-10	5,29E-10	4,72E-10	4,02E-10	3,29E-10	3,29E-10
4,61E-10	5,67E-10	6,68E-10	7,51E-10	8,07E-10	8,26E-10	8,07E-10	7,51E-10	6,68E-10	5,67E-10	4,61E-10	4,61E-10
6,23E-10	7,69E-10	9,1E-10	1,03E-09	1,1E-09	1,13E-09	1,1E-09	1,03E-09	9,1E-10	7,69E-10	6,23E-10	6,23E-10
8,07E-10	1E-09	1,19E-09	1,35E-09	1,45E-09	1,48E-09	1,45E-09	1,35E-09	1,19E-09	1E-09	8,07E-10	8,07E-10
1E-09	1,25E-09	1,48E-09	1,67E-09	1,79E-09	1,83E-09	1,79E-09	1,67E-09	1,48E-09	1,25E-09	1E-09	1E-09
1,19E-09	1,48E-09	1,75E-09	1,95E-09	2,04E-09	2,07E-09	2,04E-09	1,95E-09	1,75E-09	1,48E-09	1,19E-09	1,19E-09
1,35E-09	1,67E-09	1,95E-09	2,08E-09	2,07E-09	2,06E-09	2,07E-09	2,08E-09	1,95E-09	1,67E-09	1,35E-09	1,35E-09
1,45E-09	1,79E-09	2,04E-09	2,07E-09	2,15E-09	2,15E-09	2,15E-09	2,07E-09	2,04E-09	1,79E-09	1,45E-09	1,45E-09
1,48E-09	1,83E-09	2,07E-09	2,06E-09	2,15E-09	2,15E-09	2,15E-09	2,06E-09	2,07E-09	1,83E-09	1,48E-09	1,48E-09
1,45E-09	1,79E-09	2,04E-09	2,07E-09	2,15E-09	2,15E-09	2,15E-09	2,07E-09	2,04E-09	1,79E-09	1,45E-09	1,45E-09
1,35E-09	1,67E-09	1,95E-09	2,08E-09	2,07E-09	2,06E-09	2,07E-09	2,08E-09	1,95E-09	1,67E-09	1,35E-09	1,35E-09
1,19E-09	1,48E-09	1,75E-09	1,95E-09	2,04E-09	2,07E-09	2,04E-09	1,95E-09	1,75E-09	1,48E-09	1,19E-09	1,19E-09
1E-09	1,25E-09	1,48E-09	1,67E-09	1,79E-09	1,83E-09	1,79E-09	1,67E-09	1,48E-09	1,25E-09	1E-09	1E-09
8,07E-10	1E-09	1,19E-09	1,35E-09	1,45E-09	1,48E-09	1,45E-09	1,35E-09	1,19E-09	1E-09	8,07E-10	8,07E-10
6,23E-10	7,69E-10	9,1E-10	1,03E-09	1,1E-09	1,13E-09	1,1E-09	1,03E-09	9,1E-10	7,69E-10	6,23E-10	6,23E-10
4,61E-10	5,67E-10	6,68E-10	7,51E-10	8,07E-10	8,26E-10	8,07E-10	7,51E-10	6,68E-10	5,67E-10	4,61E-10	4,61E-10
3,29E-10	4,02E-10	4,72E-10	5,29E-10	5,67E-10	5,81E-10	5,67E-10	5,29E-10	4,72E-10	4,02E-10	3,29E-10	3,29E-10
2,26E-10	2,75E-10	3,21E-10	3,59E-10	3,85E-10	3,93E-10	3,85E-10	3,59E-10	3,21E-10	2,75E-10	2,26E-10	2,26E-10
1,5E-10	1,82E-10	2,11E-10	2,36E-10	2,52E-10	2,57E-10	2,52E-10	2,36E-10	2,11E-10	1,82E-10	1,5E-10	1,5E-10
9,79E-11	1,17E-10	1,35E-10	1,5E-10	1,6E-10	1,63E-10	1,6E-10	1,5E-10	1,35E-10	1,17E-10	9,79E-11	9,79E-11
6,44E-11	7,53E-11	8,56E-11	9,42E-11	9,98E-11	1,02E-10	9,98E-11	9,42E-11	8,56E-11	7,53E-11	6,44E-11	6,44E-11
4,44E-11	5,02E-11	5,57E-11	6,03E-11	6,33E-11	6,44E-11	6,33E-11	6,03E-11	5,57E-11	5,02E-11	4,44E-11	4,44E-11
3,32E-11	3,62E-11	3,9E-11	4,13E-11	4,28E-11	4,33E-11	4,28E-11	4,13E-11	3,9E-11	3,62E-11	3,32E-11	3,32E-11
y21	y22	y23	y24	y25	y26	y27	y28	y29	y30	y31	y31

Рис. 4. Индивидуальный риск по расчетной сетке

Для определения суммарного значения индивидуального риска необходимо просуммировать значения индивидуального риска для каждого возможного сценария развития аварии. Суммарный индивидуальный риск представлен на рисунке 5.

Заключительным этапом расчета является **перенос значений суммарного индивидуального риска на расчетную сетку**, построение полей суммарного индивидуального риска. Пример поля суммарного индивидуального риска представлен на рисунке 6.

Для построения полей индивидуального риска необходимо:

- определить граничные значения суммарного индивидуального риска;
- определить, каким точкам расчетной сетки принадлежат граничные значения;
- соединить эти точки.

Периметр граничных точек будет обозначать границу поля суммарного риска. Ломаный контур полей риска (см. рис. 6) образуется из-за построения поля на основе рассчитанных значений индивидуального риска точек сетки.

Подобную операцию необходимо проделать для каждого выбранного граничного значения индивидуального риска.

Используя данную методику на практике, были построены поля индивидуального риска для нефтеперекачивающих станций ОАО «Гомельтранснефть Дружба».

2.3E-10	3.29E-09	2.96E-10	2.69E-10	2.9E-10	3.07E-10	3.18E-10	3.21E-10	3.18E-10	3.07E-10	3.18E-10	3.21E-10	3.18E-10	3.07E-10	2.9E-10	2.69E-10	2.44E-10
2.63E-10	4.8E-10	3.44E-10	3.83E-10	4.18E-10	4.45E-10	4.62E-10	4.68E-10	4.62E-10	4.45E-10	4.62E-10	4.68E-10	4.62E-10	4.45E-10	4.18E-10	3.83E-10	3.44E-10
3.65E-10	4.59E-10	6.32E-10	6.52E-10	6.6E-10	6.97E-10	7.24E-10	7.33E-10	7.23E-10	6.96E-10	7.23E-10	7.33E-10	7.23E-10	6.96E-10	6.52E-10	5.75E-10	4.91E-10
5.42E-10	8.57E-10	1.66E-09	1.25E-09	9.52E-10	9.92E-10	1.03E-09	1.04E-09	1.03E-09	9.89E-10	1.03E-09	1.04E-09	1.03E-09	9.89E-10	9.26E-10	8.44E-10	7.51E-10
7.73E-10	1.04E-09	1.68E-09	1.45E-09	1.32E-09	1.39E-09	1.45E-09	1.47E-09	1.44E-09	1.39E-09	1.44E-09	1.47E-09	1.44E-09	1.39E-09	1.29E-09	1.18E-09	1.04E-09
1.04E-09	1.25E-09	1.47E-09	1.65E-09	1.79E-09	1.92E-09	2E-09	2.02E-09	1.99E-09	1.91E-09	1.99E-09	2.02E-09	1.99E-09	1.91E-09	1.78E-09	1.61E-09	1.42E-09
1.38E-09	1.66E-09	1.93E-09	2.19E-09	2.42E-09	2.6E-09	2.72E-09	2.75E-09	2.71E-09	2.59E-09	2.71E-09	2.75E-09	2.71E-09	2.59E-09	2.4E-09	2.17E-09	1.91E-09
1.81E-09	2.18E-09	2.56E-09	2.91E-09	3.23E-09	3.47E-09	3.62E-09	3.67E-09	3.61E-09	3.44E-09	3.61E-09	3.67E-09	3.61E-09	3.44E-09	3.19E-09	2.87E-09	2.52E-09
2.33E-09	2.82E-09	3.31E-09	3.79E-09	4.2E-09	4.53E-09	4.73E-09	4.79E-09	4.71E-09	4.49E-09	4.71E-09	4.79E-09	4.71E-09	4.49E-09	4.15E-09	3.72E-09	3.25E-09
2.93E-09	3.56E-09	4.2E-09	4.82E-09	5.36E-09	5.78E-09	6.04E-09	6.12E-09	6E-09	5.71E-09	6E-09	6.12E-09	6E-09	5.71E-09	5.27E-09	4.72E-09	4.1E-09
3.61E-09	4.4E-09	5.21E-09	5.99E-09	6.66E-09	7.18E-09	7.5E-09	7.59E-09	7.45E-09	7.08E-09	7.45E-09	7.59E-09	7.45E-09	7.08E-09	6.53E-09	5.83E-09	5.06E-09
4.33E-09	5.3E-09	6.3E-09	7.24E-09	8.05E-09	8.65E-09	9E-09	9.09E-09	8.92E-09	8.51E-09	8.92E-09	9.09E-09	8.92E-09	8.51E-09	7.86E-09	7.02E-09	6.08E-09
5.07E-09	6.22E-09	7.41E-09	8.51E-09	9.41E-09	1E-08	1.03E-08	1.04E-08	1.02E-08	9.82E-09	1.02E-08	1.04E-08	1.02E-08	9.82E-09	9.14E-09	8.2E-09	7.1E-09
5.77E-09	7.11E-09	8.46E-09	9.69E-09	1.06E-08	1.11E-08	1.12E-08	1.12E-08	1.11E-08	1.08E-08	1.11E-08	1.12E-08	1.11E-08	1.08E-08	1.02E-08	9.28E-09	8.06E-09
6.39E-09	7.89E-09	9.39E-09	1.07E-08	1.15E-08	1.18E-08	1.21E-08	1.22E-08	1.19E-08	1.15E-08	1.19E-08	1.22E-08	1.19E-08	1.15E-08	1.1E-08	1.02E-08	8.88E-09
6.87E-09	8.5E-09	1.01E-08	1.14E-08	1.21E-08	1.25E-08	1.28E-08	1.28E-08	1.26E-08	1.22E-08	1.26E-08	1.28E-08	1.26E-08	1.22E-08	1.16E-08	1.08E-08	9.5E-09
7.16E-09	8.88E-09	1.06E-08	1.19E-08	1.24E-08	1.28E-08	1.28E-08	1.28E-08	1.28E-08	1.28E-08	1.28E-08	1.28E-08	1.28E-08	1.28E-08	1.2E-08	1.12E-08	9.88E-09
7.22E-09	8.98E-09	1.07E-08	1.21E-08	1.25E-08	1.27E-08	1.3E-08	1.3E-08	1.29E-08	1.26E-08	1.29E-08	1.3E-08	1.29E-08	1.26E-08	1.22E-08	1.14E-08	9.99E-09
7.05E-09	8.79E-09	1.05E-08	1.19E-08	1.25E-08	1.26E-08	1.28E-08	1.29E-08	1.27E-08	1.25E-08	1.27E-08	1.29E-08	1.27E-08	1.25E-08	1.23E-08	1.13E-08	9.78E-09
6.65E-09	8.3E-09	9.98E-09	1.14E-08	1.23E-08	1.26E-08	1.27E-08	1.27E-08	1.26E-08	1.25E-08	1.26E-08	1.27E-08	1.26E-08	1.25E-08	1.2E-08	1.08E-08	9.25E-09
6.06E-09	7.57E-09	9.13E-09	1.06E-08	1.16E-08	1.22E-08	1.23E-08	1.24E-08	1.24E-08	1.23E-08	1.24E-08	1.24E-08	1.24E-08	1.23E-08	1.12E-08	9.93E-09	8.45E-09
5.34E-09	6.66E-09	8.04E-09	9.37E-09	1.05E-08	1.12E-08	1.16E-08	1.17E-08	1.15E-08	1.09E-08	1.15E-08	1.17E-08	1.15E-08	1.09E-08	9.98E-09	8.77E-09	7.43E-09
4.55E-09	5.66E-09	6.82E-09	7.96E-09	8.95E-09	9.7E-09	1.01E-08	1.02E-08	9.96E-09	9.37E-09	9.96E-09	1.02E-08	9.96E-09	9.37E-09	8.5E-09	7.45E-09	6.31E-09
3.75E-09	4.65E-09	5.59E-09	6.51E-09	7.33E-09	7.95E-09	8.32E-09	8.4E-09	8.18E-09	7.68E-09	8.18E-09	8.4E-09	8.18E-09	7.68E-09	6.96E-09	6.11E-09	5.19E-09
3E-09	3.7E-09	4.44E-09	5.15E-09	5.78E-09	6.27E-09	6.56E-09	6.63E-09	6.45E-09	6.07E-09	6.45E-09	6.63E-09	6.45E-09	6.07E-09	5.51E-09	4.85E-09	4.13E-09
2.33E-09	2.86E-09	3.42E-09	3.95E-09	4.43E-09	4.79E-09	5.01E-09	5.06E-09	4.93E-09	4.65E-09	4.93E-09	5.06E-09	4.93E-09	4.65E-09	4.23E-09	3.74E-09	3.2E-09
1.76E-09	2.15E-09	2.56E-09	2.95E-09	3.3E-09	3.56E-09	3.72E-09	3.76E-09	3.66E-09	3.46E-09	3.66E-09	3.76E-09	3.66E-09	3.46E-09	3.16E-09	2.8E-09	2.41E-09
1.29E-09	1.57E-09	1.87E-09	2.14E-09	2.39E-09	2.58E-09	2.69E-09	2.71E-09	2.65E-09	2.51E-09	2.65E-09	2.71E-09	2.65E-09	2.51E-09	2.3E-09	2.04E-09	1.76E-09
9.31E-10	1.13E-09	1.33E-09	1.52E-09	1.69E-09	1.82E-09	1.9E-09	1.91E-09	1.87E-09	1.77E-09	1.87E-09	1.91E-09	1.87E-09	1.77E-09	1.63E-09	1.45E-09	1.26E-09
6.61E-10	7.91E-10	9.26E-10	1.05E-09	1.17E-09	1.25E-09	1.31E-09	1.32E-09	1.29E-09	1.23E-09	1.29E-09	1.32E-09	1.29E-09	1.23E-09	1.13E-09	1.01E-09	8.86E-10
4.7E-10	5.53E-10	6.39E-10	7.22E-10	7.95E-10	8.51E-10	8.85E-10	8.94E-10	8.77E-10	8.36E-10	8.77E-10	8.94E-10	8.77E-10	8.36E-10	7.75E-10	7E-10	6.17E-10
3.4E-10	3.92E-10	4.45E-10	4.96E-10	5.41E-10	5.76E-10	5.97E-10	6.03E-10	5.93E-10	5.68E-10	5.93E-10	6.03E-10	5.93E-10	5.68E-10	5.3E-10	4.84E-10	4.33E-10
2.55E-10	2.86E-10	3.18E-10	3.48E-10	3.75E-10	3.96E-10	4.09E-10	4.13E-10	4.07E-10	3.92E-10	4.07E-10	4.13E-10	4.07E-10	3.92E-10	3.7E-10	3.42E-10	3.12E-10
y20	y21	y22	y23	y24	y25	y26	y27	y28	y29	y30	y31	y32	y32	y30	y31	y32

Рис. 5. Значение суммарного индивидуального риска

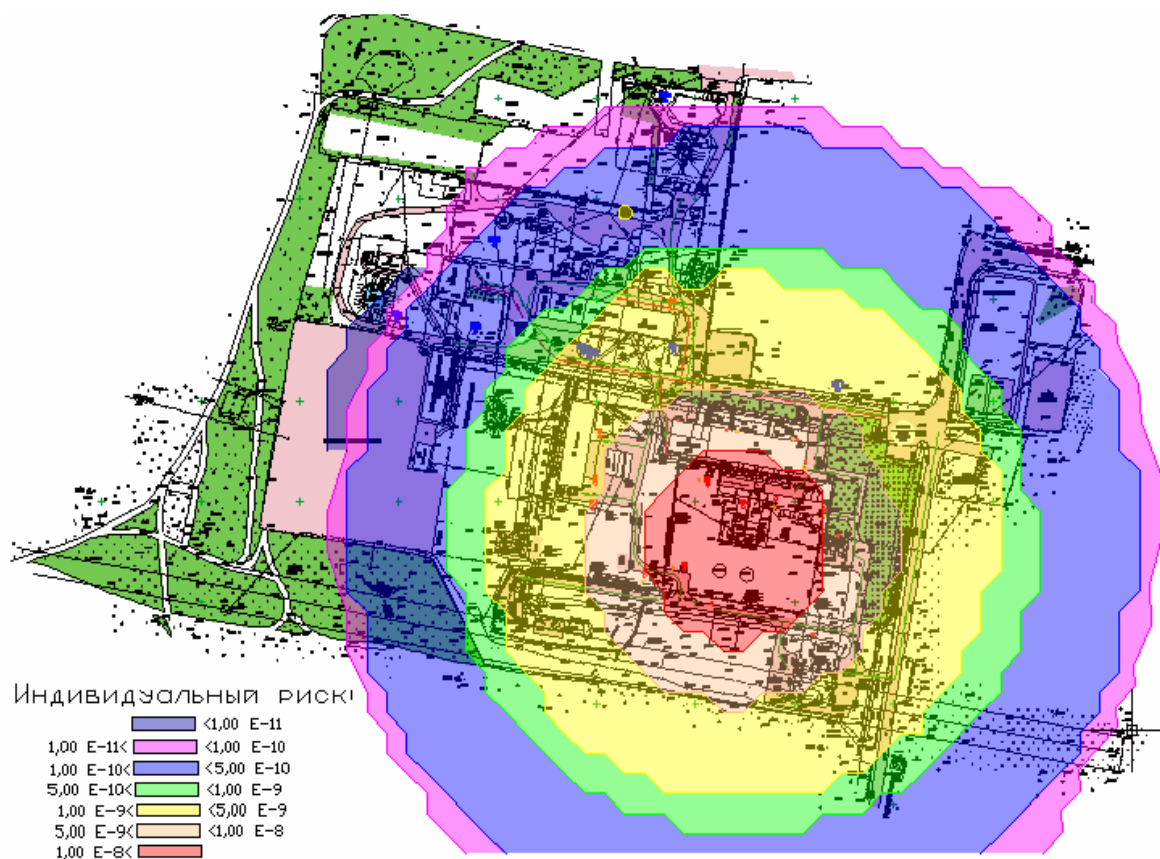


Рис. 6. Поля суммарного индивидуального риска

Заключение. Предложенная методика определения и построения полей суммарного индивидуального риска для промышленных объектов позволяет *проанализировать* значение суммарного индивидуального риска для каждой точки территории объекта, *определить* участки территории с наибольшим и наименьшим индивидуальным риском, *визуализировать* поле индивидуального риска – наглядно представить и соотнести риск с местоположением на территории промышленного объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нормы пожарной безопасности Республики Беларусь. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: НПБ 5-2005. – Минск: НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси, 2006.
2. Категорирование помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности: ТКП 474-201. – Минск: НИИ ПБ и ЧС МЧС Беларуси, 2013

Поступила 24.06.2013

CONSTRUCTION OF FIELDS OF INDIVIDUAL RISK FOR INDUSTRIAL OBJECTS

A. KULBEY, I. LEONOVICH

The issues of calculation visualization and construction of the fields of individual risk on the basis of the master plan of an industrial object using the accessible software. The calculation of individual risk and the probability of destruction of personnel is an important step in the safety assessment of the site in general, and the creation of the declaration of safety of the site in particular. The method of identification and construction of the fields of total individual risk for industrial objects is offered, which allows to analyze the sense of total individual risk for each spot of the territory of the object, to define the areas with the highest and the lowest individual risk, and to visualize the field of individual risk, to visually imagine and correlate the risk with the location on the territory of the industrial object.