

УДК 51-74

ОБ ОПТИМАЛЬНОМ РАСПОЛОЖЕНИИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ НА РУБЕЖЕ ОХРАНЫ ПРЕДПРИЯТИЯ

Костенко Константин Владимирович¹, Сеннер Александр Евгеньевич²

¹Аспирант Института системного анализа и управления;
ГБОУ ВПО «Международный Университет природы, общества и человека «Дубна»,
Институт системного анализа и управления;
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;
e-mail: kostenko@dubna.ru.

²Кандидат физико-математических наук, доцент Института системного анализа и управления;
ГБОУ ВПО «Международный Университет природы, общества и человека «Дубна»,
Институт системного анализа и управления;
141980, Московская обл., г. Дубна, ул. Университетская, 19;
e-mail: senner_a_e@mail.ru.

В статье исследуется зависимость характеристик периметровой охранной системы предприятия от геометрического расположения сейсмических датчиков. Топология и интервалы установки сейсмических датчиков на рубеже охраны влияют на характеристики системы, связанные с ее информативностью: на ширину охраняемой зоны и точность определения координат нарушителей. Рассмотрены три типичные топологии установки датчиков: в две линии в шахматном порядке, в две линии без смещения, в три линии в шахматном порядке.

Ключевые слова: охранные системы, сейсмические системы, сейсмические датчики, зона охраны, координаты нарушителя, обработка информации.

ABOUT OPTIMAL LOCATION OF SEISMIC SENSORS AT THE PERIMETER OF COMPANY

Kostenko Konstantin¹, Senner Alexander²

¹Post-graduate student of the Institute of Systems Analysis and Management;
Dubna International University of Nature, Society and Man,
Institute of system analysis and management;
141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;
e-mail: kostenko@dubna.ru.

²Candidate of Science in Physics and Mathematics, associate professor of Institute of system analysis and management;
Dubna International University of Nature, Society, and Man,
Institute of system analysis and management;
141980, Dubna, Moscow reg., Universitetskaya str., 19;
e-mail: senner_a_e@mail.ru.

This article investigates the dependence of the characteristics of perimeter security system on the geometrical arrangement of seismic sensors. The topology and the installation intervals of seismic sensors affect the following system characteristics related to its information content: the width of the monitored area and the precision of intruders localization. Three typical topologies of the sensors installation are considered: two lines in a staggered manner, two lines without offset, three lines in a staggered manner.

Keywords: security systems, seismic systems, seismic sensors, protection zone, intruder coordinates, information processing.

Введение

В современных условиях оснащение периметра эффективной охранной системой является одной из важнейших задач экономической безопасности любого предприятия, начиная от самого малого и заканчивая крупными стратегическими. В случае крупных стратегических предприятий химической, атомной промышленности от эффективности охранной системы зависит также экологическая безопасность прилегающих территорий (предотвращение техногенных катастроф, вызванных терактами).

При проектировании и промышленном изготовлении периметровой охранной системы предприятия необходимо найти баланс между требуемыми тактико-техническими характеристиками (включая информативность для оператора) и стоимостью аппаратной части, установки и дальнейшей эксплуатации системы. В связи с тем, что сейсмические датчики имеют ограниченный радиус действия (типично – 25 м), от расстояния их установки относительно друг друга зависят такие характеристики охранной системы, как ширина зоны обнаружения, точность определения координат, отсутствие слепых зон и т.д.

Топология и интервалы установки сейсмических датчиков на местности влияют на характеристики системы, связанные с ее информативностью: на ширину охраняемой зоны и точность определения координат нарушителей. Рассмотрены три типичные топологии [1] установки датчиков: в две линии в шахматном порядке, в две линии без смещения, в три линии в шахматном порядке – и проведен численный эксперимент по расчету значений характеристик системы при различных топологиях и интервалах установки датчиков.

1. Топология установки датчиков в две линии в шахматном порядке

Рассмотрим такие характеристики охранной системы, как: точность определения координат нарушителя, ширина зоны определения координат и количество датчиков на погонный километр периметра – и их зависимости от интервалов установки датчиков – d_x и d_y . Схема расположения датчиков в шахматном порядке представлена на рис. 1.

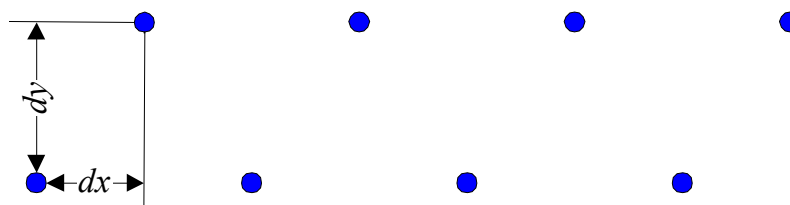


Рис. 1. Топология установки датчиков в шахматном порядке

Принимая в расчет радиус действия датчиков $r = 25$ м и тот факт, что для определения координат нарушителя необходимо, чтобы его регистрировали одновременно как минимум четыре датчика, можно построить схему области определения координат. На рис. 2 показан участок охраняемого периметра, состоящий из восьми датчиков с интервалами установки $d_x = 10$ м и $d_y = 10$ м. Окружностями обозначены радиусы действия датчиков. Области пересечения одновременно четырех окружностей обозначены голубым цветом и вместе составляют зону определения координат нарушителя.

Важной характеристикой охранной системы является ширина этой зоны, однако, для различных d_x и d_y ее геометрическая форма зачастую принимает нетривиальный вид. Поэтому разумно говорить о средней ширине зоны определения координат нарушителя. Так как ее геометрия имеет регулярную периодическую структуру и описывается системой неравенств, взяв периодический участок, и методом численного интегрирования вычислив его площадь, можно затем рассчитать среднюю ширину зоны, которая показана розовым прямоугольником.

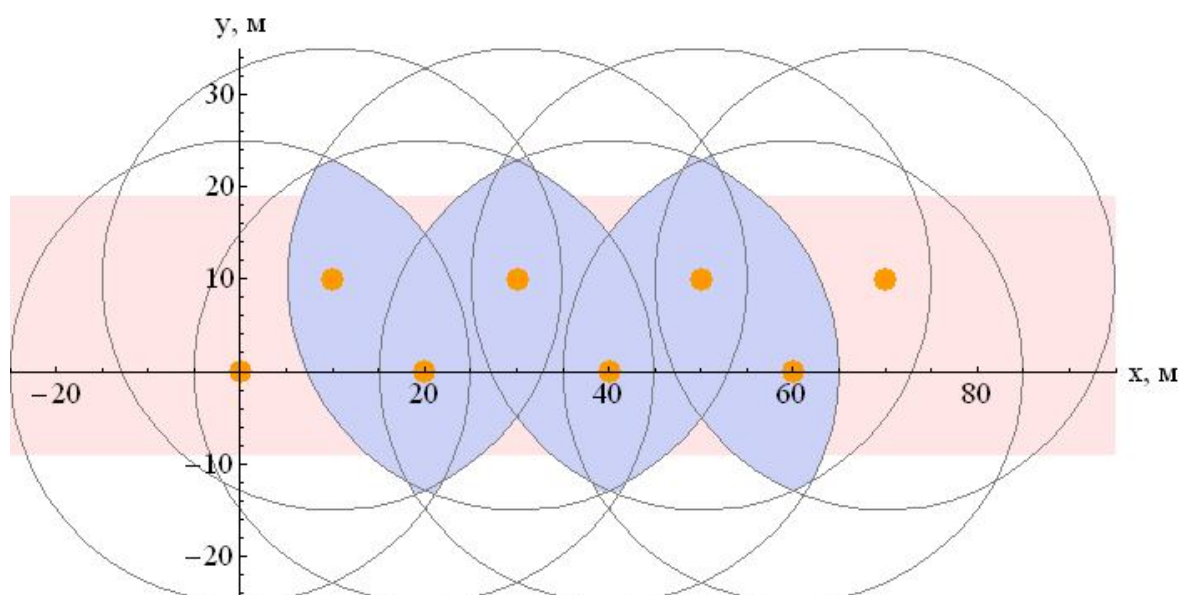
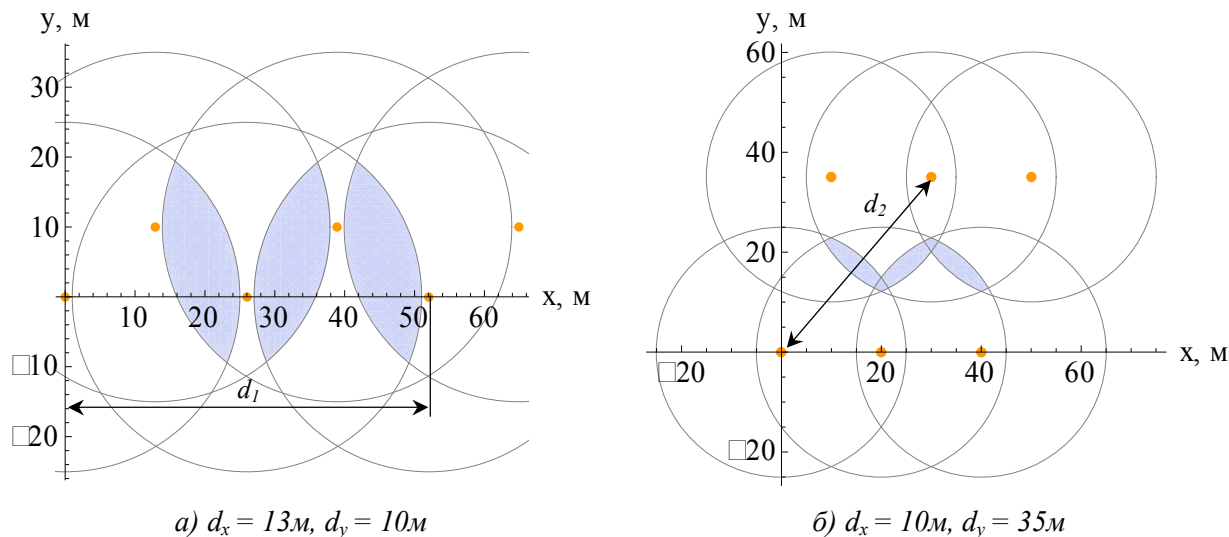


Рис. 2. Зона определения координат нарушителя

При выборе d_x и d_y необходимо обращать внимание на то, чтобы в зоне определения координат не появлялось просветов (рис. 3а). Для данного топологического расположения датчиков условиями отсутствия просветов являются (рис. 3б) (1):

$$d_1 < 2r \text{ и } d_2 < 2r, \text{ где } d_1 = 4d_x \text{ и } d_2 = \sqrt{9d_x^2 + d_y^2}. \quad (1)$$

Оба этих условия должны выполняться одновременно, однако второе является скорее формальным, т.к. нарушаться оно будет при значительных d_y , приводящих к существенному уменьшению средней ширины зоны определения координат.



а) $d_x = 13\text{м}, d_y = 10\text{м}$

б) $d_x = 10\text{м}, d_y = 35\text{м}$

Рис. 3. Геометрия зоны определения координат при различных d_x и d_y

Другой крайностью является слишком высокая плотность установки датчиков, что приводит к образованию слишком большого количества сочетаний четверок датчиков, регистрирующих нарушителя. Так, если одновременно десять датчиков регистрируют нарушителя, то число сочетаний составляет 210. Отработка такого количества сочетаний при функционировании системы в реальном времени может негативно сказаться на времени реакции системы. Кроме того, такое количество отметок является избыточным, для определения координат с приемлемой точностью. Поэтому, в рамках данного исследования было решено наложить дополнительные ограничения на интервалы установки датчиков, чтобы нарушителя одновременно регистрировали не более 9 датчиков, что соответствует максимальному количеству сочетаний равному 126.

Для данного варианта расстановки датчиков соответствующим условием будет (рис. 4) (2):

$$d_3 > 2r, \text{ где } d_3 = \sqrt{81d_x^2 + d_y^2}. \quad (2)$$

При выполнении условия, нарушитель, где бы он ни находился, будет зарегистрирован не более чем девятью датчиками одновременно.

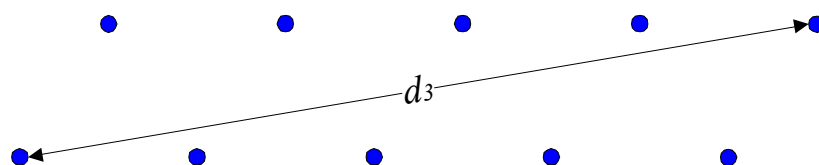


Рис. 4. Иллюстрация ограничения на минимальные интервалы между датчиками

Принимая во внимание вышеизложенное, можно рассчитать значения ширины зоны определения координат для различных интервалов установки датчиков. Результат будет представлять собой двумерную таблицу, в строках и столбцах которой будут находиться конкретные значения d_x и d_y , а в ячейках соответствующее им значение ширины. Графически результат представлен на рис. 5. По вертикальной оси отложена ширина зоны определения координат нарушителя для соответствующих значений интервалов d_x и d_y . Диапазоны значений интервалов были выбраны в соответствии с рассмотренными ограничениями и составляют: для d_x – 5÷12м, для d_y – 1÷30м. Шаг изменения интервалов равен одному метру.

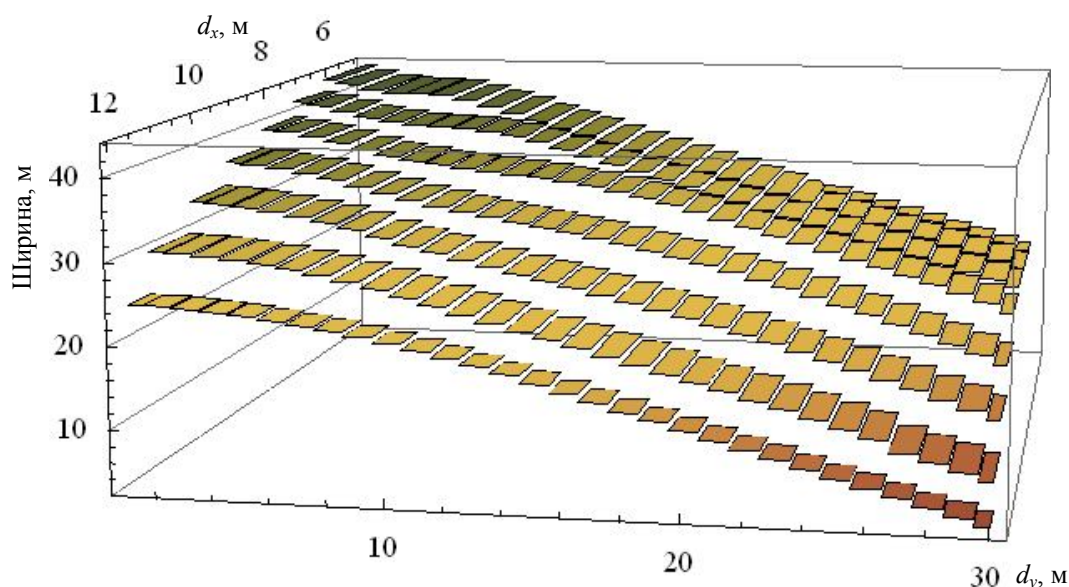


Рис. 5. Ширина зоны определения координат для различных интервалов установки датчиков

Для значения $d_x = 5$ м (на рисунке не видно) допустимыми значениями d_y являются 22÷30 м, остальные не удовлетворяют условию на максимальную плотность установки датчиков.

Анализ полученных данных показывает, что максимальная ширина зоны определения координат наблюдается при минимальных интервалах установки датчиков. Интервал d_y должен выбираться минимально возможным для заданной точности определения координат (см. далее). От интервала d_x зависит экономическая составляющая проектируемой системы – чем меньше интервал, тем больше датчиков нужно установить на погонный километр периметра и тем выше стоимость. Поэтому, при выборе d_x необходимо учитывать одновременно три параметра: ширина зоны определения координат, точность определения координат и стоимость системы. В табл. 1 приведены количества устанавливаемых датчиков на километр периметра для рассматриваемых значений d_x .

Табл. 1. Количество датчиков на километр периметра в зависимости от интервала установки

d_x , м	5	6	7	8	9	10	11	12
Q , шт/км	200	166	142	125	111	100	90	83

Рассмотрим влияние выбора интервалов установки датчиков на точность определения координат нарушителя. Для этого возьмем участок периметра охраны длиной 100м (рис. 6), наложим на него равномерную прямоугольную сетку. Считая, что нарушитель находится в узлах сетки рассчитаем его координаты при уровне зашумленности $S = \pm 1\%$, затем определим среднее отклонение рассчитанных координат от реальных.

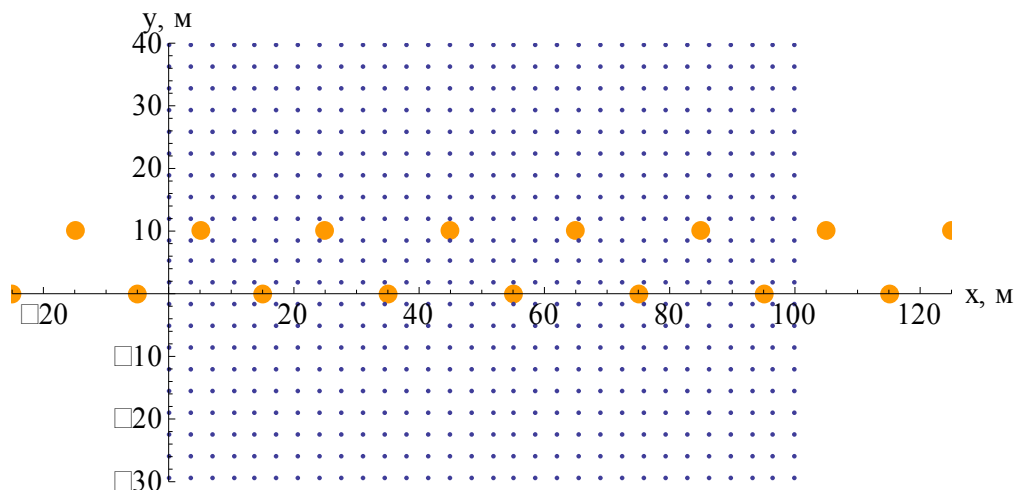


Рис. 6. Выбранный участок охраняемого периметра для исследования точности определения координат нарушителя

Изменяя интервалы установки датчиков в тех же пределах и с тем же шагом ($d_x = 5 \div 12$ м, $d_y = 1 \div 30$ м, шаг – 1 м), и выполняя несколько прогонов для каждого варианта для получения более чистой статистической картины, определим среднее отклонение рассчитанных координат нарушителя от реальных. Подобно ситуации с расчетом средней ширины зоны определения координат получим двумерную таблицу, в строках и столбцах которой будут находиться конкретные значения d_x и d_y , а в ячейках соответствующее им среднее отклонение координат. Графическое представление результатов приведено на рис. 7. По вертикальной оси отложено среднее отклонение рассчитанных координат нарушителя от реальных для соответствующих значений интервалов установки датчиков.

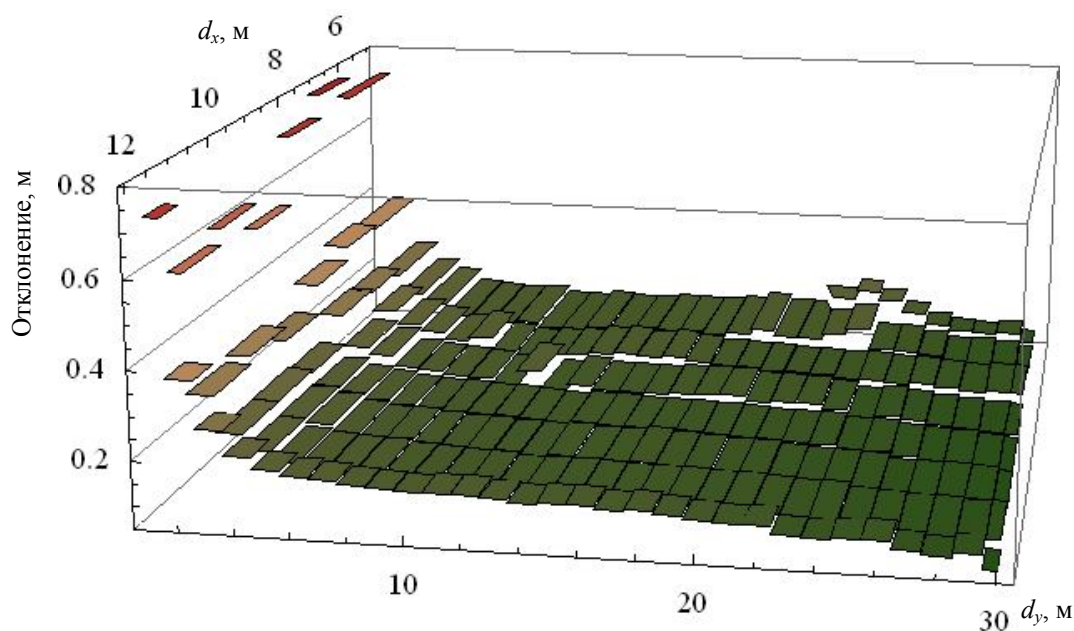


Рис. 7. Среднее отклонение рассчитанных координат нарушителя от реальных для различных интервалов установки датчиков

Анализируя полученные результаты, можно отметить, что точность определения координат возрастает с увеличением интервала d_y . Однако, как было показано ранее, это происходит в ущерб ширине зоны определения координат. Ухудшение точности проявляется при малых значениях $d_y = 1 \div 3$ м, что объясняется плохой фокусировкой четверки датчиков на дальние цели, т.к. датчики в этом случае располагаются почти в ряд. Расчеты показывают, что от интервала d_x точность почти не зависит, поэтому выбирать его следует исходя из необходимой ширины зоны определения координат и стоимости (см. выше).

Для подтверждения сделанных выводов, необходимо выяснить, как точность определения координат ухудшается с увеличением зашумленности на наблюдаемом участке охраняемой зоны. Для этого увеличим уровень ошибки во временных задержках прихода сигнала на датчики в три раза – $S = \pm 3\%$. Результаты приведены на рис. 8.

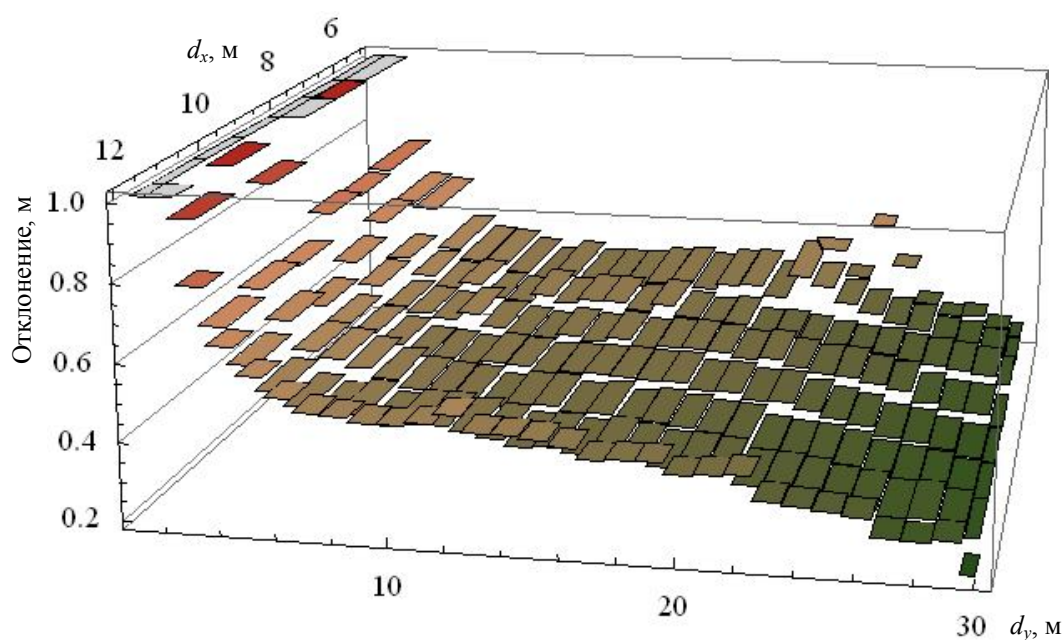


Рис. 8. Среднее отклонение рассчитанных координат нарушителя от реальных при увеличении уровня шума

Среднее отклонение увеличилось для всех значений интервалов установки датчиков. Масштаб вертикальной оси для большей наглядности ограничен значением в 1 метр, отклонения более одного метра обозначены серыми прямоугольниками на верхней границе. Очевидно, что принципиальных изменений с увеличением шумности не произошло, поэтому, все выводы, сделанные ранее, остаются справедливыми.

2. Топология установки датчиков в две линии без смещения

Схематично данное топологическое расположение можно представить, как показано на рис. 9.

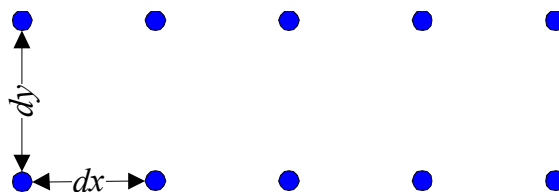


Рис. 9. Топология установки датчиков в две линии без смещения

Прежде всего, необходимо обратить внимание на обстоятельство, связанное с ограничением применяемого метода определения координат нарушителя, которое становится актуальным именно при данном топологическом расположении датчиков. Для четверки датчиков, расположенных в вершинах прямоугольника, при нахождении нарушителя на прямых, проходящих ровно посередине между соседними датчиками (рис. 10), рассчитать координаты становится невозможно.

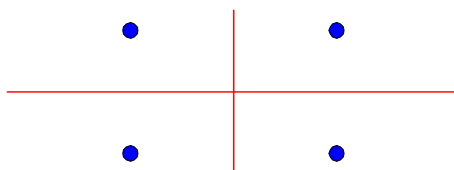


Рис. 10. При нахождении нарушителя на прямых расчет координат невозможен

В точках, находящихся в непосредственной близости к данным прямым расчет координат дает большую погрешность. Решением данной проблемы является исключение из рассмотрения таких сочетаний из четырех датчиков, и расчет координат по оставшимся комбинациям.

Зона определения координат строится способом, описанным ранее. На рис. 11 показан участок охраняемого периметра, состоящий из десяти датчиков с интервалами установки $d_x = 15\text{м}$ и $d_y = 10\text{м}$. Зона обозначена голубым цветом, а ее средняя ширина – розовым.

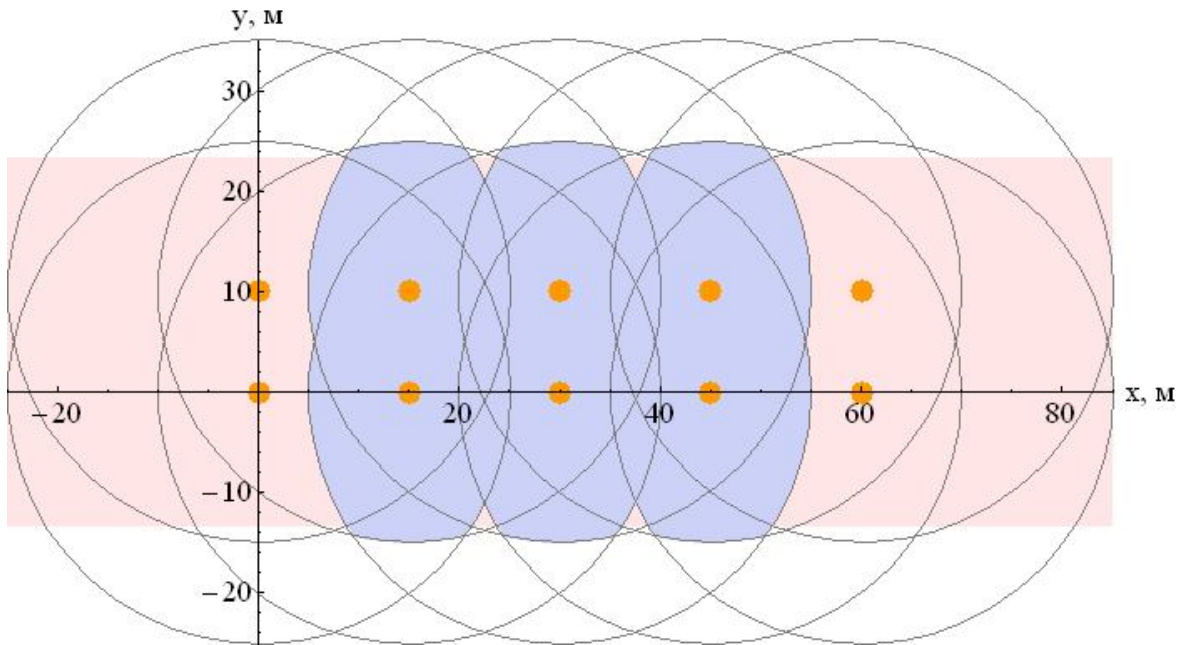


Рис. 11. Зона определения координат нарушителя

Условием отсутствия просветов в зоне определения координат для данного топологического расположения датчиков является (рис. 12) (3):

$$d_1 < 2r, \text{ где } d_1 = \sqrt{9d_x^2 + d_y^2}. \tag{3}$$

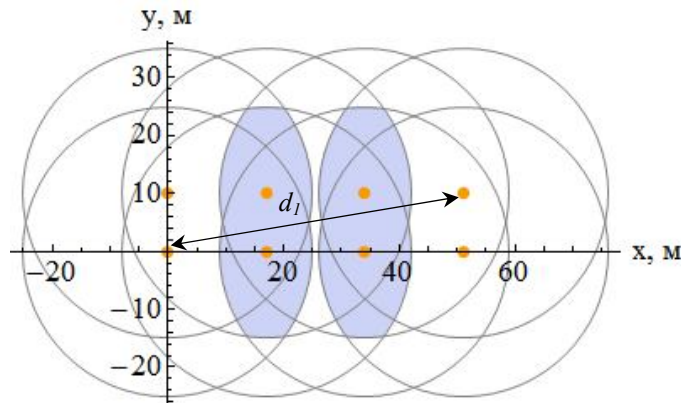


Рис. 12. Просвет в зоне определения координат при $d_x=17\text{м}$ и $d_y=10\text{м}$

Для ограничения максимальной плотности установки датчиков применяется условие (рис. 13) (4):

$$d_2 > 2r, \text{ где } d_2 = \sqrt{16d_x^2 + d_y^2}. \tag{4}$$

При выполнении условия, нарушитель, где бы он ни находился, будет зарегистрирован не более чем девятью датчиками одновременно.

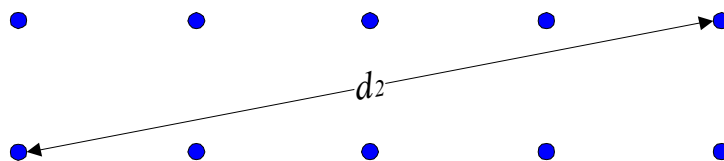


Рис. 13. Иллюстрация ограничения на минимальные интервалы между датчиками

В соответствии с рассмотренными ограничениями, диапазоны значений интервалов установки датчиков составляют: для $d_x - 11 \div 16 \text{ м}$, для $d_y - 1 \div 30 \text{ м}$. При шаге изменения интервалов равном

одному метру получают следующие результаты для ширины зоны определения координат нарушителя (рис. 14).

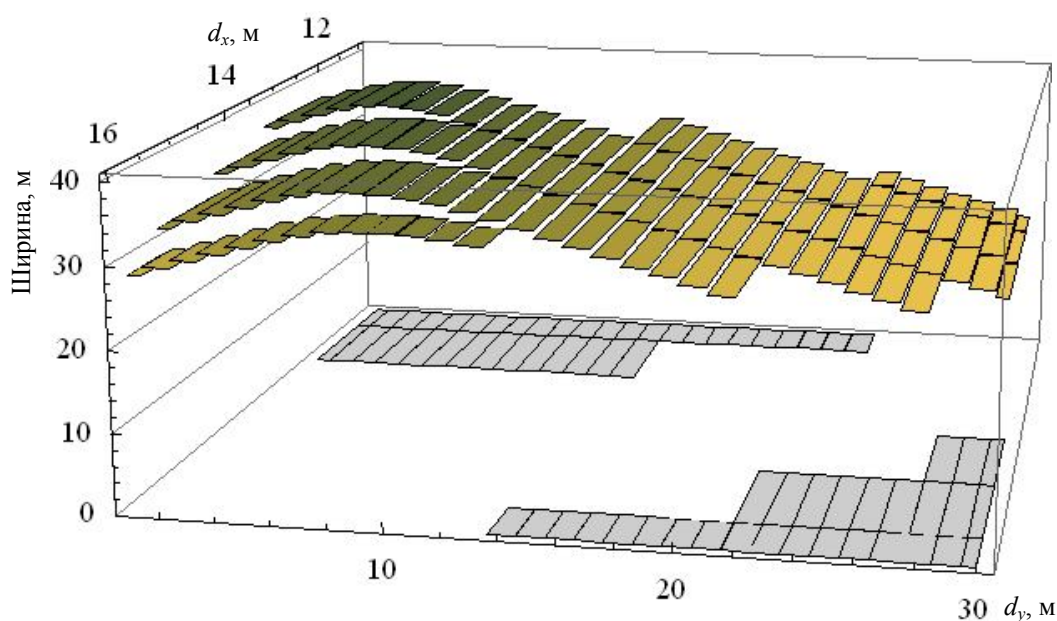


Рис. 14. Ширина зоны определения координат для различных интервалов установки датчиков

Из-за наличия ограничений на допустимые сочетания параметров d_x и d_y , для некоторых таких сочетаний расчет ширины зоны определения координат не проводился. Такие сочетания обозначены серыми клетками на дне воображаемого параллелепипеда и не должны использоваться при установке датчиков.

В отличие от случая с шахматным расположением датчиков, где максимальная ширина достигалась при минимальных интервалах установки (рис. 5), в данном случае наблюдается некоторая область оптимальных, с точки зрения ширины зоны, значений. Экстремальные значения d_x и d_y , принадлежащие этой области, связаны между собой выражением $d_y = d_x - 7$.

Количества устанавливаемых датчиков на километр периметра для рассматриваемых значений d_x , обуславливающие экономическую составляющую проектируемой системы, приведены в табл. 2.

Табл. 2. Количество датчиков на километр периметра в зависимости от интервала установки

d_x , м	11	12	13	14	15	16
Q , шт/км	180	166	152	142	132	124

Для рассмотрения зависимости точности определения координат нарушителя от интервалов установки датчиков возьмем, как и в предыдущем разделе, участок периметра охраны длиной 100м (рис. 15), наложим на него равномерную прямоугольную сетку. Считая, что нарушитель находится в узлах сетки рассчитаем его координаты при уровне зашумленности $S = \pm 1\%$, затем определим среднее отклонение рассчитанных координат от реальных.

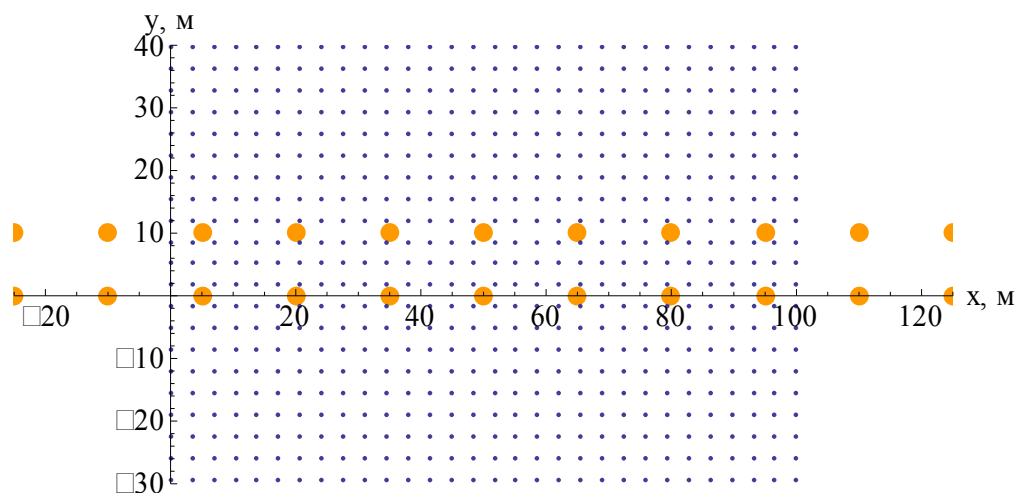


Рис. 15. Выбранный участок охраняемого периметра для исследования точности определения координат нарушителя

Для интервалов установки датчиков $d_x = 11 \div 16$ м и $d_y = 1 \div 30$ м с шагом изменения 1 м после выполнения нескольких прогонов для каждого варианта получим среднее отклонение рассчитанных координат нарушителя от реальных. Графически результат представлен на рис. 16.

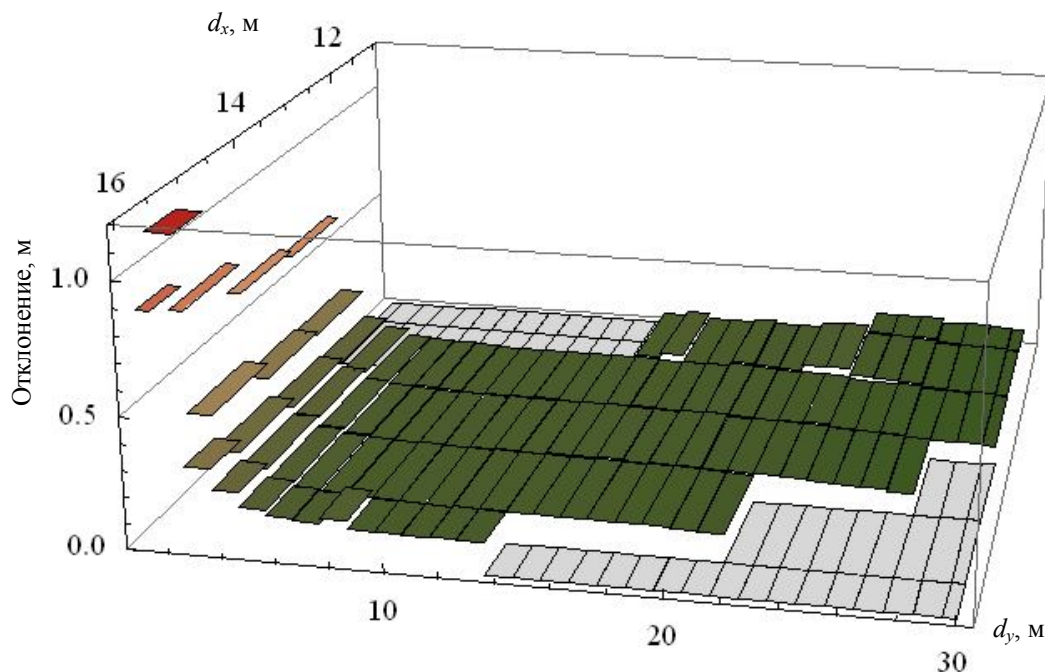


Рис. 16. Среднее отклонение рассчитанных координат нарушителя от реальных для различных интервалов установки датчиков

Общая тенденция полученных результатов указывает на то, что точность определения координат возрастает с увеличением интервала d_y . Эта же особенность была ранее отмечена и для случая шахматного расположения датчиков. Ухудшение точности аналогично проявляется при малых значениях $d_y = 1 \div 3$ м в связи с плохой фокусировкой четверки датчиков на дальние цели. От интервала d_x точность почти не зависит, поэтому выбирать его следует исходя из необходимой ширины зоны определения координат и стоимости.

С увеличением зашумленности на наблюдаемом участке охраняемой зоны ($S = \pm 3\%$) картина принципиально не изменяется (рис. 17).

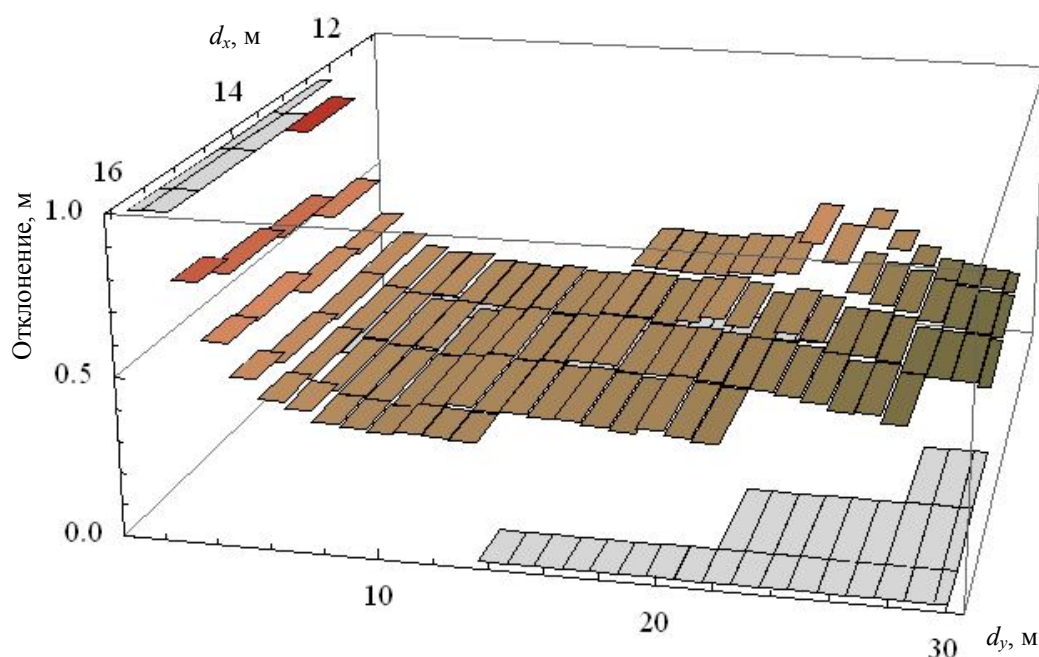


Рис. 17. Среднее отклонение рассчитанных координат нарушителя от реальных при увеличении уровня шума

Среднее отклонение увеличивается для всех значений интервалов установки датчиков, однако общая тенденция сохраняется. Масштаб вертикальной оси для большей наглядности ограничен значением в 1 метр, отклонения более одного метра обозначены серыми прямоугольниками на верхней границе.

3. Топология установки датчиков в три линии в шахматном порядке

Данное топологическое расположение датчиков является комбинацией двух рассмотренных ранее. Схематично его можно представить, как показано на рис. 18.

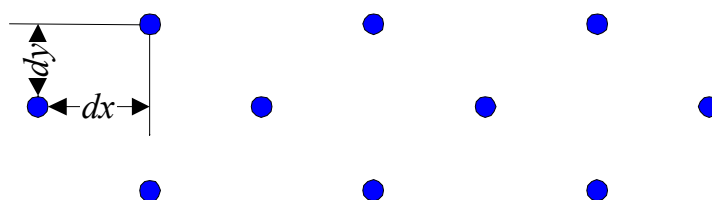


Рис. 18. Топология установки датчиков в три линии

Смыслом добавления дополнительного количества датчиков является ожидание улучшения тактических характеристик системы, а именно расширения зоны и увеличения точности определения координат нарушителя.

Ограничение применяемого метода расчета координат, связанное с необходимостью исключения из рассмотрения четверок датчиков, расположенных в вершинах прямоугольника, остается актуальным и здесь. Дополнительно, необходимо исключать четверки, образующие ромбы (рис. 19). Если диагонали ромба равны ($d_x = d_y$), то он вырождается в квадрат, повернутый на 45 градусов, с вытекающими последствиями, описанными ранее. Если же диагонали ромба лишь незначительно различаются ($|d_x - d_y| = 1 \div 2 м$), то это приводит к увеличению ошибки определения координат при использовании в расчетах таких комбинаций.

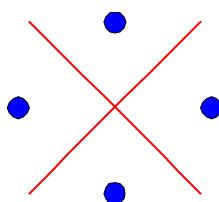


Рис. 19. При нахождении нарушителя на прямых расчет координат невозможен либо дает большую погрешность

Принимая во внимание данные ограничения, было решено вообще исключить из рассмотрения все комбинации датчиков в виде ромбов, независимо от соотношения их диагоналей.

Зона определения координат при интервалах установки датчиков $d_x = 10\text{м}$ и $d_y = 10\text{м}$ показана на рис. 20.

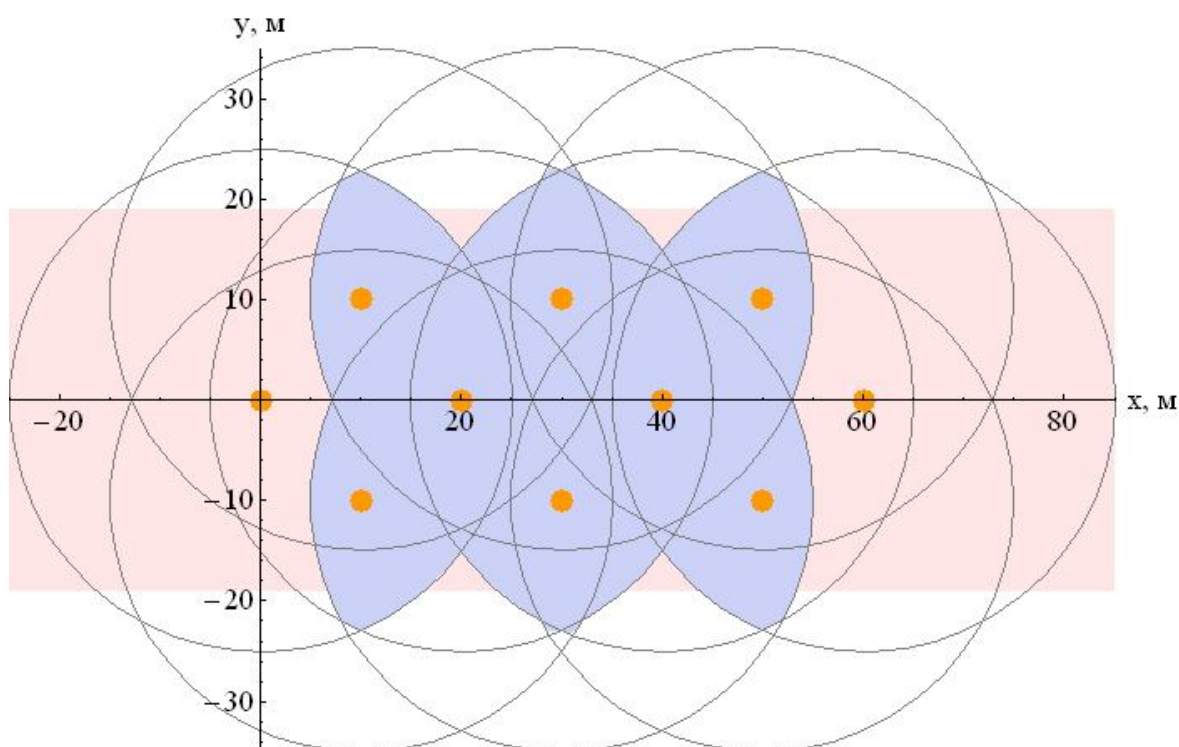


Рис. 20. Зона определения координат нарушителя

Условием отсутствия просветов в зоне определения координат для данного топологического расположения датчиков с учетом наложенных ограничений является (рис. 21) (5):

$$d_1 < 2r, \text{ где } d_1 = \sqrt{16d_x^2 + 4d_y^2}. \tag{5}$$

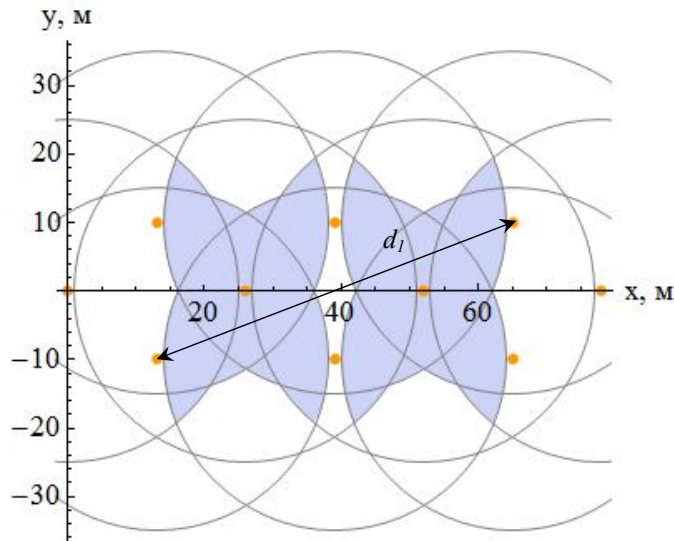


Рис. 21. Просвет в зоне определения координат при $d_x=13\text{м}$ и $d_y=10\text{м}$

Для ограничения максимальной плотности установки датчиков применяется условие (рис. 13) (6):

$$d_2 > 2r, \text{ где } d_2 = 6d_x. \tag{6}$$

При выполнении условия, нарушитель, где бы он ни находился, будет зарегистрирован не более чем девятью датчиками одновременно.

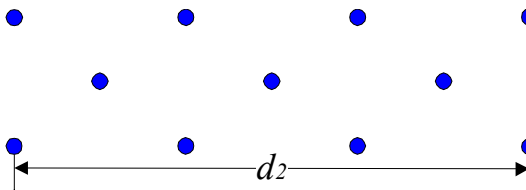


Рис. 22. Иллюстрация ограничения на минимальные интервалы между датчиками.

В соответствии с рассмотренными ограничениями, диапазоны значений интервалов установки датчиков составляют: для $d_x - 9 \div 12\text{м}$, для $d_y - 1 \div 17\text{м}$. При шаге изменения интервалов равном одному метру получаются следующие результаты для ширины зоны определения координат нарушителя (рис. 23).

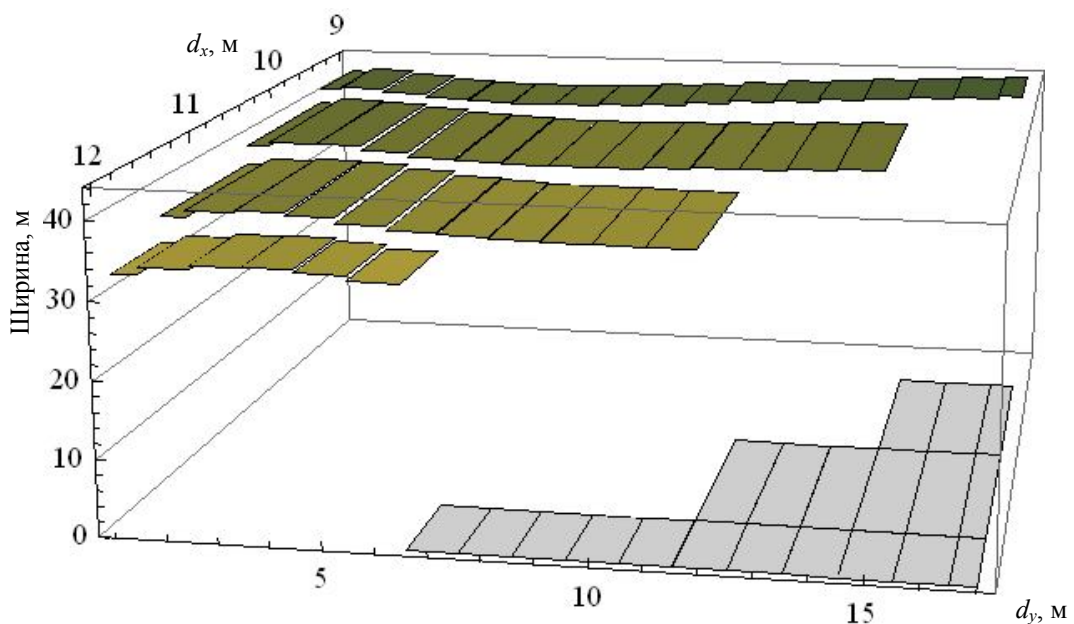


Рис. 23. Ширина зоны определения координат для различных интервалов установки датчиков

Из-за наличия ограничений на допустимые сочетания параметров d_x и d_y , некоторые такие сочетания обозначены серыми клетками на дне воображаемого параллелепипеда и не должны использоваться при установке датчиков. С ростом интервала d_x ширина зоны определения координат несколько уменьшается.

Количества устанавливаемых датчиков на километр периметра для рассматриваемых значений d_x , обуславливающие экономическую составляющую проектируемой системы, приведены в табл. 3.

d_x , м	9	10	11	12
Q , шт/км	166	150	136	125

Табл. 3. Количество датчиков на километр периметра в зависимости от интервала установки

Для рассмотрения зависимости точности определения координат нарушителя от интервалов установки датчиков возьмем участок периметра охраны (рис. 24), наложим на него равномерную прямоугольную сетку. Считая, что нарушитель находится в узлах сетки рассчитаем его координаты при уровне зашумленности $S = \pm 1\%$, затем определим среднее отклонение рассчитанных координат от реальных.

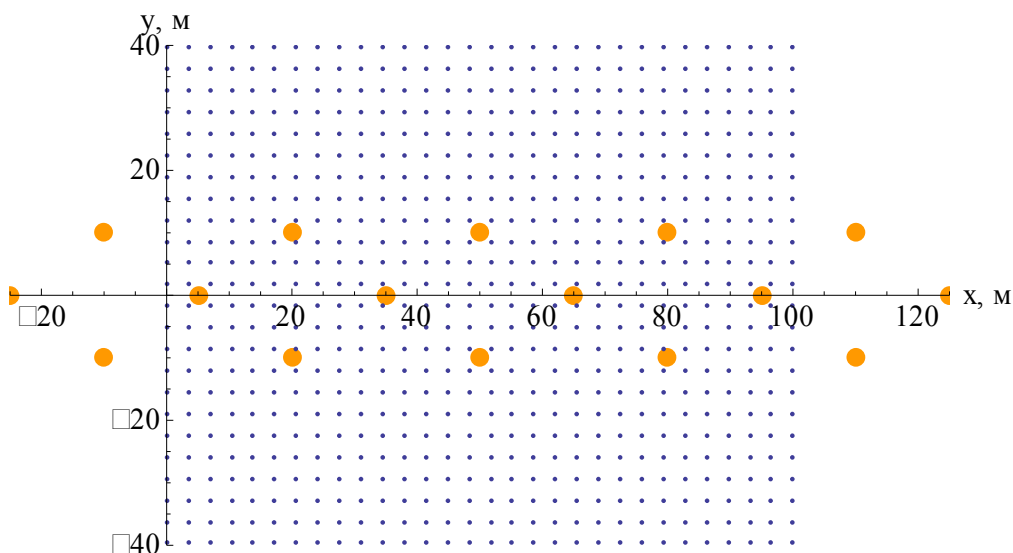


Рис. 24. Выбранный участок охраняемого периметра для исследования точности определения координат нарушителя

Для интервалов установки датчиков $d_x = 9 \div 12$ м и $d_y = 1 \div 17$ м с шагом изменения 1 м после выполнения нескольких прогонов для каждого варианта получим среднее отклонение рассчитанных координат нарушителя от реальных. Графически результат представлен на рис. 25.

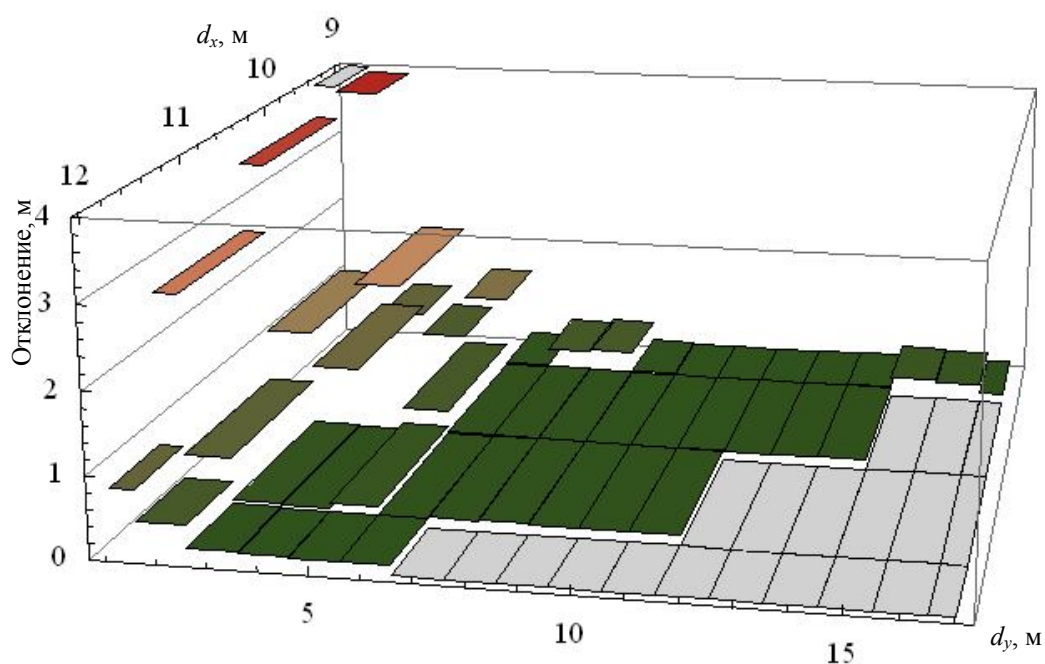


Рис. 25. Среднее отклонение рассчитанных координат нарушителя от реальных для различных интервалов установки датчиков

Ухудшение точности определения координат наблюдается, как и в других вариантах расстановки датчиков, при малых значениях d_y . Однако, в данном случае, по сравнению с другими вариантами, оно более существенное – в несколько раз. От интервала d_x точность почти не зависит, а ввиду того, что от d_x также слабо зависит и ширина зоны определения координат, выбирать его следует максимально возможным для снижения стоимости системы.

С увеличением зашумленности на наблюдаемом участке охраняемой зоны ($S = \pm 3\%$) картина принципиально не изменяется (рис. 26).

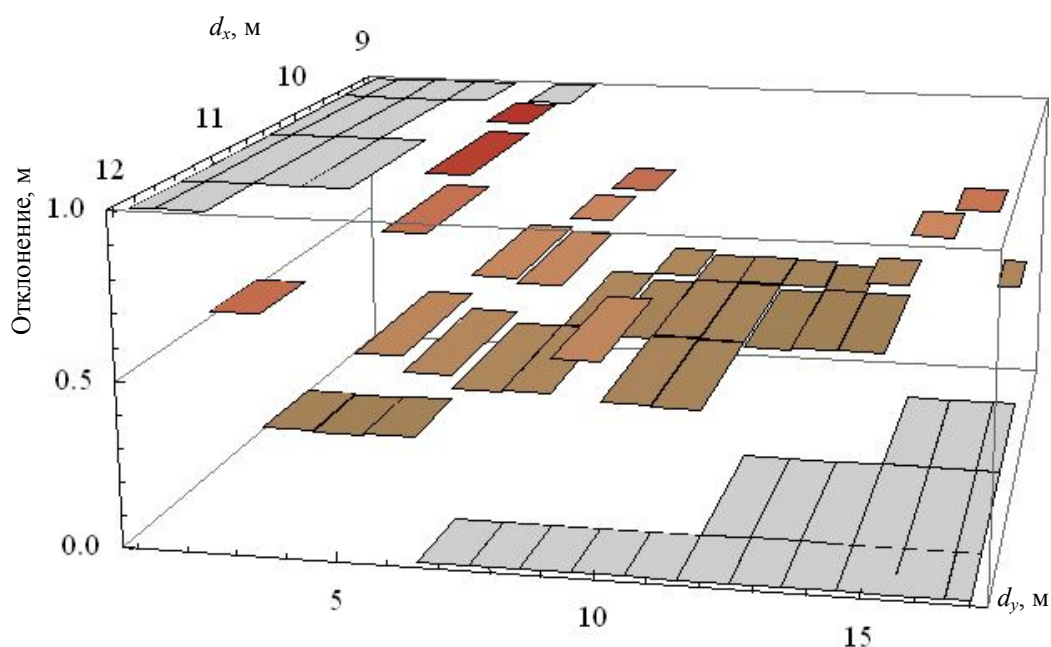


Рис. 26. Среднее отклонение рассчитанных координат нарушителя от реальных при увеличении уровня шума

Среднее отклонение увеличивается для всех значений интервалов установки датчиков, однако общая тенденция сохраняется. Масштаб вертикальной оси для большей наглядности ограничен значением в 1 метр, отклонения более одного метра обозначены серыми прямоугольниками на верхней границе.

4. Сравнительная оценка рассмотренных топологий

Рассмотрены три варианта топологии установки датчиков: в две линии шахматная, в две линии без смещения, в три линии шахматная.

Сравнительными параметрами при анализе результатов, полученных для различных пространственных расположений датчиков, являются точность определения координат нарушителя (среднее отклонение рассчитанных координат от реальных), ширина зоны определения координат нарушителя, количество датчиков на километр периметра охраны.

Для сравнения результатов [2] представим их в качестве точек в трехмерном пространстве, где по осям будут отложены значения обозначенных характеристик. Каждая точка показывает значения параметров системы с соответствующей топологией установки датчиков для определенного сочетания интервалов установки d_x и d_y . Анализируемое трехмерное пространство результатов удобно представить в виде трех проекций на декартовы плоскости [3] (рис. 27).

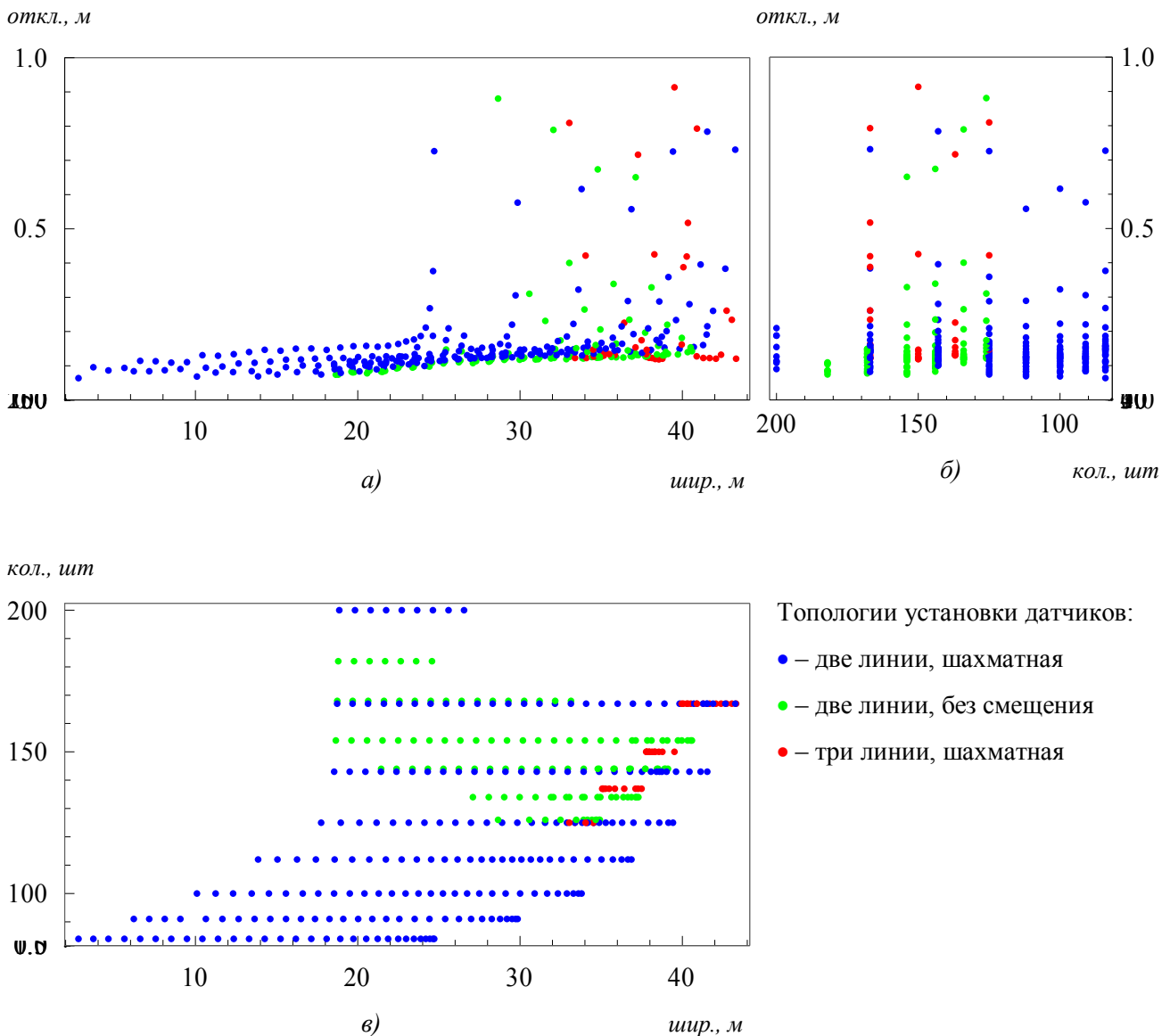


Рис. 27. Значения тактико-технических характеристик системы при различных топологиях и интервалах установки датчиков

Анализ полученных результатов приводит к выводу: каждая топология обладает свойствами, позволяющими оптимизировать определенные характеристики системы.

Топология в две линии в шахматном порядке позволяет выбирать интервалы установки датчиков в более широких пределах. За счет уменьшения ширины зоны определения координат

можно минимизировать количество датчиков, что мало сказывается на точности определения координат, но снижает стоимость системы.

Установка датчиков *в две линии без смещения* позволяет в определенных случаях добиться несколько большей точности определения координат в сравнении с первым вариантом. При этом значения ширины зоны определения координат и количества устанавливаемых датчиков будут примерно одинаковыми.

Преимуществом использования топологии установки датчиков *в три линии в шахматном порядке* является то обстоятельство, что при наибольшей ширине зоны определения координат рассчитанная точность определения координат выше по сравнению с другими топологиями.

Заключение

От топологии и расстояний установки сейсмических датчиков относительно друг друга зависят такие характеристики охранной системы, как ширина зоны обнаружения, точность определения координат, отсутствие слепых зон и т.д. Поэтому, проектировщику системы необходимо расположить датчики оптимальным для конкретного случая образом.

Исследованы три топологии установки сейсмических датчиков – в две линии в шахматном порядке и без смещения, в три линии в шахматном порядке. Рассмотрены различные интервалы установки датчиков для каждой топологии и их влияние на тактико-технические характеристики системы, такие как: точность определения координат нарушителя (среднее отклонение рассчитанных координат от реальных), ширина зоны определения координат нарушителя, количество датчиков на километр периметра охраны. Показано, что каждая топология имеет свои преимущества и недостатки.

Список литературы

1. Тёрстон У. Трехмерная геометрия и топология. – М.: Высшая школа, 2001. – С. 496.
2. Монтгомери Д.К. Планирование эксперимента и анализ данных. – М.: Наука, 2000. – С. 204.
3. Тот Л.Ф. Расположения на плоскости, на сфере и в пространстве. – СПб.: Питер, 2008. – С. 337.