

*А.В. Кочетков*

(Пермский национальный исследовательский политехнический университет;  
e-mail: soni.81@mail.ru)

## **АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПЛАЗМЕННЫХ НАПЫЛЕНИЙ**

*Разработаны рекомендации по управлению функционированием объекта в условиях электромагнитного излучения комплекса плазменного напыления.*

*Ключевые слова: электромагнитное поле, распределение, безопасность.*

*A.V. Kochetkov*

## **ANALYSIS OF ELECTROMAGNETIC FIELD OF INSTALLATION FOR PLASMA DUSTING**

*Recommendations by management of functioning of object in conditions of electromagnetic radiation from a complex of plasma dusting are developed.*

*Key words: electromagnetic field, distribution, safety.*

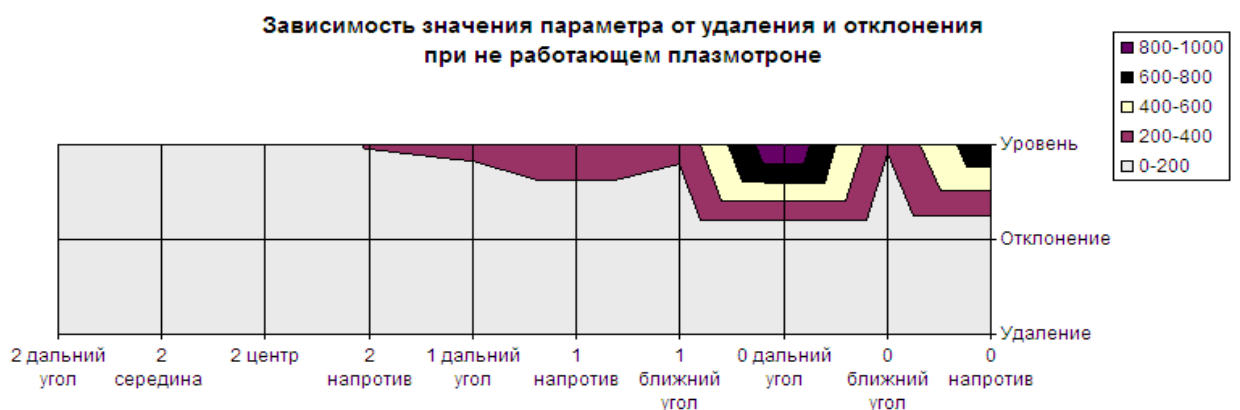
Проводилось исследование рабочей среды установки плазменных напылений. Оказалось важным оценить степень влияния параметров режимов регулирования на изменения параметров электромагнитного излучения. Плазмотрон представляет собой плазменную горелку, в которой дуга замыкается на стенку канала сопла и выдувается наружу в виде плазменного факела потоком горячего газа. При этом накопление энергии плазменным факелом происходит на начальном участке дуги между катодом и анодным пятном дуги. На этом участке плазменная дуга отшнурована и занимает небольшую часть сечения канала благодаря высокой скорости газа и большого собственного электромагнитного поля. Наибольший ток может достигать 600 А при наибольшей мощности до 20 кВт.

В период работы плазмотрона в рабочей среде электротехнического комплекса установки плазменных напылений имеет место мощное электромагнитное излучение, источник которого – работающий плазмотрон.

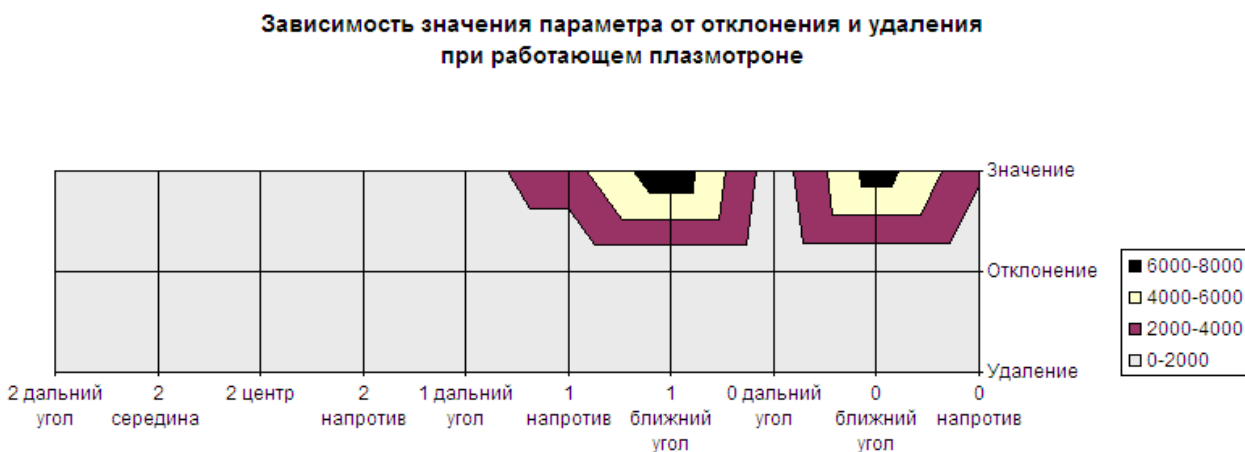
Предметом исследования при проведении электромагнитного мониторинга рабочей среды электротехнического комплекса установки плазменного напыления стало изучение зависимости распределения интенсивности магнитного поля по территории объекта от удаления и углового отклонения. Для оценки электромагнитной обстановки на объекте было проведено измерение значения выбранного нормативного параметра в нескольких точках ряда помещений лаборатории вакуумной технологии Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю.А.

Графическая модель (рис. 1, 2) представляла собой построенный средствами Excel график зависимости значения выходного параметра от удаления и отклонения, демонстрирующий пространственное распределение излучения посредством разнесения значений косвенного параметра (индукции магнитного поля) по шкалам отклонения и удаления, в совокупности формирующим плоскость, соответствующую плоскости помещения объекта, то есть комнаты с установкой.

График создан на основе стандартной диаграммы типа "Контурная диаграмма поверхности" Excel посредством добавления вспомогательной оси, с отображением на одной диаграмме зависимости значения выходного параметра не только от удаления, но и от отклонения. Диаграмма представляла собой плоскость, на пространстве которой были локализованы различные степени превышения условного порога, привязанные к пространственным координатам. Ось категорий (ось X) имела шкалу, деления которой были представлены категориями удаления – отклонениями, соответствующими точкам на схеме помещения. Всего было построено два графика: для неработающего плазмотрона (то есть для обесточенной установки и для работающего источника питания) и для работающего плазмотрона [2].

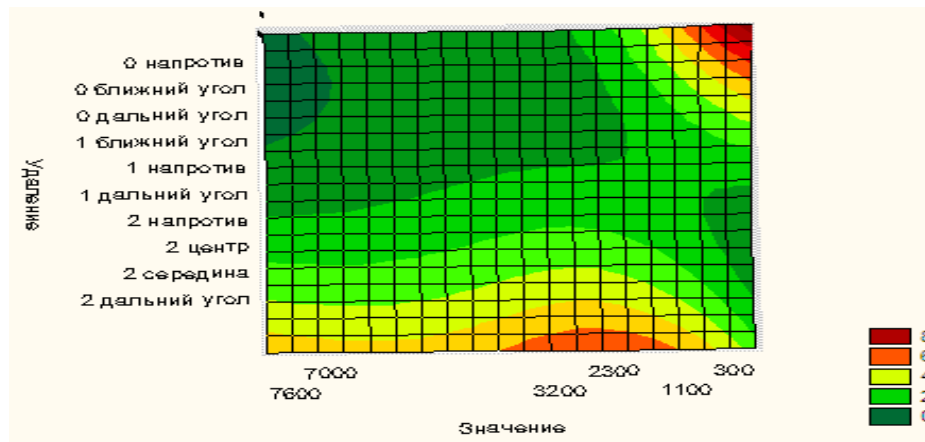


**Рис. 1.** Первая диаграмма графической модели

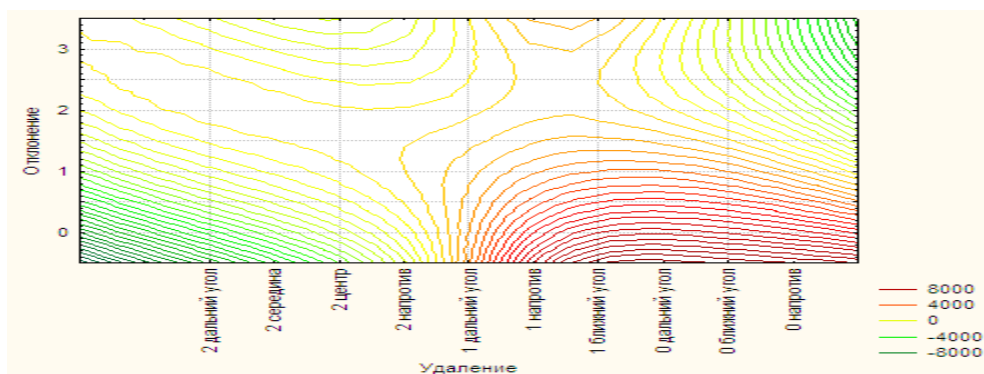


**Рис. 2.** Вторая диаграмма графической модели

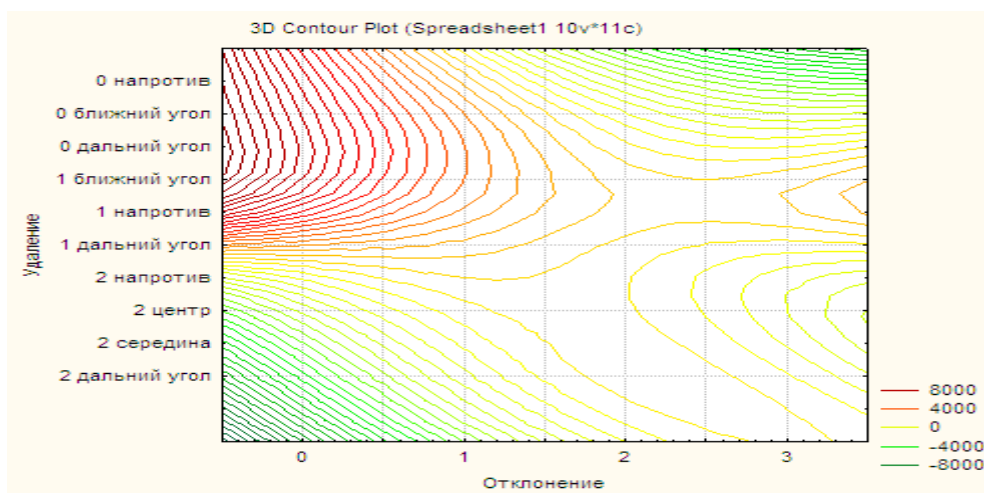
Адекватность модели подтверждается тем, что при анализе экспериментальных данных с помощью средств STATISTICA 6.0 были получены аналогичные графики (рис. 3-5).



**Рис. 3.** Распределение и значение параметров рабочей среды. Построено средствами STATISTICA 6.0



**Рис. 4.** Графическое построение STATISTICA 6.0, соответствующее первой диаграмме графической модели



**Рис. 5.** Графическое построение STATISTICA 6.0, соответствующее второй диаграмме графической модели

Анализ графической модели показывает, что при неработающем плазмотроне и в момент напыления различаются две области сильно повышенного значения выходного параметра, пространственная локализация которых позволяет идентифицировать их как три участка комнаты.

Первый из них (точка "0 дальний угол", соответствующая минимальному удалению при максимальном отклонении) указывает на точку  $C1$ , расположенную рядом с распределительным щитом. Пространственное положение первой области ограничено точками "1 напротив" и "0 ближний угол" и соответствует той стороне установки, которая расположена ближе к распределительному щиту.

Вторая область – правый угол диаграммы – ограничена точками диаграммы "0 ближний угол" и "0 напротив" и соответствует точкам  $C2$  и  $C3$ , расположенным ближе всего к плазмотрону. Третья область – слабое превышение – ограничена точками на диаграмме "1 ближний угол" и "2 напротив", соответствующим точкам  $B1$ ,  $B2$  и  $A3$  на схеме помещения, для которых характерно среднее удаление при среднем отклонении.

Третья область – это центр комнаты, область слабого превышения. Эта область отсутствует на второй диаграмме – диаграмме работающего плазмотрона, что подтверждает предположение о том, что критическое превышение – фактор, переключающий систему в экстремальный режим с аномальными свойствами. Часть диаграммы – области серого, фоновое цвета представляет область, которая для первой диаграммы – нормальных режимов и неработающего плазмотрона – соответствует отсутствию превышения, а для диаграммы экстремального режима и работающего плазмотрона соответствует сильному, но не критическому превышению.

На полученном путём селекции по уровню корреляции исходном массиве средствами Excel была построена регрессионная модель зависимости изменений значений выходного параметра от влияния возмущающих факторов. В качестве критерия при селекции наборов факторов использовался статистический показатель "доля объяснённой дисперсии". Итогом работы с моделью стало выявление четырёх статистически значимых наборов факторов.

Первая группа факторов представлена переменными "Удаление", "Слабое превышение", "Слабое удаление", "Комната". Она описывает первый из режимов функционирования объекта – режим слабого превышения, локализованный на той части комнаты, для которой характерно слабое превышение и слабое удаление, то есть для центральной её части.

Вторая группа факторов – "Слабое отклонение", "Отклонение", "Сильное превышение", "Сильное удаление" описывает экстремальный режим для большей части комнаты, вне точечной области критического превышения.

Третья группа факторов – "Нет превышения", "Плазма", "Критическое превышение" – описывает работу "переключателя", то есть подтверждает предположение о том, что критическое превышение "переключает" систему из нормального в экстремальный режим функционирования.

Четвёртая, пороговая, группа факторов – "Сильное превышение", "Критическое превышение", "Нет превышения" и "Плазма" – охватывает весь процесс функционирования системы в целом и показывает процесс развития изменения электромагнитной обстановки на объекте в рамках цикла напыления: три стадии – подготовка к напылению, когда источник питания создаёт сильное превышение в той части комнаты, которая ближе всего к установке; напыление (экстремальный режим, работа плазмотрона) и, наконец, нет превышения – после напыления, когда установка обесточена. Фактор "Плазма" играет роль переключателя.

Оптимальной можно считать модель, представленную группой факторов "Сильное превышение", "Критическое превышение", "Нет превышения" и "Плазма" – сочетанием, оптимально описывающим зависимость изменений значений выходного параметра от влияния возмущающих факторов. Статистически значимыми оказались факторы "Отклонение" и "Сильное превышение" уровня. Поэтому основная часть неблагоприятного воздействия от электромагнитного излучения работающего плазмотрона локализована в пределах расположения установки.

Разработаны рекомендации по организации и проведению профилактических и защитных мероприятий в рамках стандартных нормативных требований санитарно-гигиенических норм, а именно: инженерные методы; защита временем и расстоянием; использование индивидуальных средств защиты и защитных экранов, а также проведение организационных профилактических мероприятий по ограничению доступа на объект и сокращению времени пребывания персонала и сотрудников.

Рекомендации в области управления функционированием системы, методов "контроля климата" и проектирования её эксплуатационных свойств представлены разработанной методикой управления функционированием системы в условиях неблагоприятного воздействия от электромагнитного излучения, основанной на использовании набора дискретных режимов, каждый из которых соответствует определенному уровню излучения и соответствующему этому уровню состоянию электромагнитной обстановки на объекте. К рекомендуемым для минимизации неблагоприятного воздействия и защиты здоровья людей мероприятиям относятся: разметка территории объекта и установка защитных экранов [2].

Разметка территории объекта представляет собой разметку территории с помощью полос разного цвета, соответствующего интенсивности поля: желтый цвет отделяет безопасную область от опасной, красный – крайне опасную от опасной. Желтой полосой обозначается территория сильного превышения абсолютного норматива, а красной – локальный участок экстремального превышения в "желтой" области. Другой рекомендуемый инженерный метод защиты – использование экранов. Экраны устанавливаются вокруг доминирующего источника (либо по периметру вокруг установки, либо линией напротив дверок

камеры напыления). Установка экранов может быть постоянной, когда экраны прикреплены к участку территории, и временной – экраны устанавливаются на период работы установки. Материал для экранов подбирается в соответствии с таблицами поглощающих и защитных свойств.

Следующий рекомендуемый метод защиты (защита временем) заключается в регламентировании времени пребывания людей на территории объекта с целью минимизировать воздействие. Рекомендуется исключить доступ на территорию объекта посторонних. В период работы установки в помещении должны находиться только операторы, принимающие участие в управлении технологическим циклом. Остальной персонал должен находиться в дежурной комнате. Дверь в помещение расположения установки в период работы установки должны быть закрыта. Во время работы плазмотрона в помещении может находиться только оператор. Их работа должна быть организована так, чтобы минимизировать время их нахождения возле работающей установки. Например: организовать работу персонала так, чтобы суммарное время нахождения каждой группы операторов в области повышенного или сильно повышенного излучения не превышало определённого интервала (не более одного часа в сумме). Каждый цикл работы с плазмотроном должен проводить новый оператор.

Другой метод защиты от неблагоприятного воздействия электромагнитного излучения – использование индивидуальных средств защиты: защитные диэлектрические перчатки, защитная резиновая обувь, защитные резиновые фартуки, усиленные добавлением поглощающего материала, защитные головные уборы и защитные комбинезоны. Рекомендуется использование защитных комбинезонов для всей группы операторов комплекса на весь период технологического цикла. Для оператора обязательно усиление защитного костюма использованием защитных перчаток и фартука, так как из-за особенностей установки во время работы плазмотрона наибольшему воздействию подвергаются именно руки и верхняя часть торса, от верхней части груди до области солнечного сплетения.

Модель управления установкой плазменных напылений разработана на основе набора дискретных состояний по уровню превышения абсолютной нормы. Технологический процесс напыления разделяется на следующие основные этапы: включение установки и работа установки в фоновом режиме: подготовка установки к работе плазмотрона; процесс напыления: работа плазмотрона, управление работой плазмотрона; работа установки в фоновом режиме, подготовка к выключению. Основная задача управления этим процессом – минимизация неблагоприятного воздействия от электромагнитного излучения элементов электротехнического комплекса и плазмотрона (от плазмотрона только в процессе напыления – в экстремальном режиме). Для организации управления важен алгоритм управления на основе формализации воздействия возмущающих факторов системы, имеющих различную природу. Для этого в основу модели описываемого явления была положена оценка состояний системы с помощью дискретных переменных манекенов.

Основная стратегия управления функционированием системы с целью минимизации неблагоприятного воздействия электромагнитного излучения заключается в организации работы персонала и элементов комплекса таким образом, чтобы каждый оператор находился как можно дольше на как можно большем удалении от доминирующих источников излучения; каждый оператор в течение как можно меньшего времени находился вблизи от источника излучения; электротехнический комплекс в целом функционировал с максимальной эффективностью при минимальных затратах человеческих и временных ресурсов.

### **Заключение**

На основании проведённых исследований разработаны рекомендации по управлению функционированием объекта в условиях неблагоприятного воздействия электромагнитного излучения электротехнических устройств, входящих в состав комплекса.

### **Литература**

1. *Абуталипов Р.Н.* Управление перемещениями и ориентацией рабочих органов автоматизированного оборудования поверхностной обработки в обобщённых технологических координатах // Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук. Саратов, 2005. 16 с.
2. *Кочетков А.В., Абуталипов Р.Н.* Проблема активного электромагнитного мониторинга современной производственной среды // Экологические системы и приборы. 2003. № 8. С. 40-43.
3. *Абуталипов Р.Н., Кочетков А.В., Ермолаев В.И.* Разработка принципов проектирования и программирования робототехнического комплекса поверхностной обработки // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2004. № 4. С. 27-33.

Статья опубликована 27 декабря 2012 г.