

Н.А. Лазуткина, С.Л. Лазуткин
Муромский институт (филиал) Владимирского государственного университета
РФ, Владимирская обл., г. Муром, ул. Орловская, 23.
E-mail: lazutkina1963@mail.ru

Планирование многофакторного эксперимента

На точность средств измерений в условиях эксплуатации влияет большое число различных факторов. При метрологической аттестации средств измерений приходится давать количественную оценку влиянию каждого фактора. Поэтому применение традиционного однофакторного эксперимента превращает в этом случае процесс аттестации в сложную, трудоёмкую и длительную исследовательскую работу.

Неоднократно предпринимаются попытки применить методы теории планирования эксперимента. Однако при этом сталкиваются с трудностями, обусловленными специфическими особенностями многофакторного эксперимента, возникающими при проведении с его помощью метрологических исследований. Как известно, применение теории планирования эксперимента для исследования погрешности средств измерения с целью оценки и выделения существенных факторов и взаимодействий, влияющих на точность, а также оптимизации параметров измерительных систем, обеспечивающих минимизацию погрешности в реальные условия эксплуатации, базирующихся на многомерном регрессионном анализе, в качестве инструмента исследования требует выполнения следующих предпосылок:

1. Результаты наблюдения исследуемого параметра $(Y_1, Y_2, Y_3 \dots Y_n)$ представляет собой независимые, нормально распределенные величины.

2. Дисперсии $G_1^2(Y_1), G_2^2(Y_2) \dots G_n^2(Y_n)$ приближенно равны друг другу, их выборочные оценки $S_1^2(Y_1), S_2^2(Y_2) \dots S_n^2(Y_n)$ однородны.

3. Отсутствует корреляция между факторами $(x_1, x_2 \dots x_i, \dots x_j)$, варьируемые в процессе эксперимента

$$COV\{x_i, x_j\} = 0$$

4. Совокупность значений исследуемого параметра образует непрерывную поверхность в многомерном поле значений факторов:

$$\lim_{x \rightarrow x_0} Y[\{x\}] = Y[x_0]$$

для любого $x_0 \in \{x_0\}$.

5. Случайная функция $y = f(t)$ воспроизводима и стационарна для достаточно большого времени t .

В этом случае оценки коэффициентов уравнения регрессии, выполнены по методу наименьших квадратов, получается несмещенными и эффективными. При нарушении перечисленных предпосылок не удаётся получить удовлетворительные оценки коэффициентов. В процессе метрологических экспериментов исследуемым параметром (Y) является погрешность средств измерений, обусловленная комплексным воздействием внешних факторов

$$x_1, x_2 \dots x_i, \dots x_j,$$

поэтому предположение о нормальности распределения исследуемого параметра оптимизации Y справедливо для большинства измерительных приборов разного назначения и разного класса точности. Предпосылки 2 и 3 также выполняются. Вторая – вследствие того, что современные методы и средства измерений позволяют обеспечить однородность дисперсии $G^2(Y)$, т.е. независимость $G^2(Y)$ от номера эксперимента плана. Третья – в силу того, что при решении метрологических задач оцениваются воздействия на прибор различных по природе внешних факторов (напряженности внешнего магнитного поля, температуры, давления окружающей среды и пр.). Предпосылка о непрерывности погрешности в поле внешних факторов также справедливо для большинства измерительных приборов. Представляется очевидным также и

Секция 15. Техносферная безопасность и мониторинг окружающей среды

отсутствие, как правило, особых точек и особых областей у поверхности $Y(x)$, т.е. поверхность будет монотонно изменяющейся функцией эксплуатационных факторов x , а для ее экстремума (случае его существования) будет характерно медленное изменение dY/dx_i , при переходе через нуль. Если неопределенность в измерении Y и x невелика, то использование обычных методов регрессионного анализа не приведет к существенным погрешностям, и оценки исследуемого параметра останутся не смещенными и эффективными. В противном случае значение оценок, полученных без учёта погрешностей при измерении параметра оптимизации Y и факторов x , будут смещенными и неэффективными. Наличие указанных погрешностей приводит также к риску (при проверки по F-критерию) принять неадекватную модель $Y(x)$ за адекватную, что может привлечь за собой накопление ложной информации об исследуемом приборе. Если полином $Y(X, \beta)$ точно описывает погрешность средства измерения, а $Y(X, b)$ –

уравнение полученной регрессии, то разность: $\left| Y(x, \beta) - \bar{Y}(x, b) \right|$, может быть обусловлена

погрешностями измерений факторов и параметра оптимизации. Еще одна особенность, возникающая при применении метода планирования эксперимента в метрологии связано с предпосылкой 4 – предположение о стационарности случайного процесса $Y = f(t)$ и его воспроизводимости. Для большинства средств измерений изменение их погрешности во времени является процессом стационарным или квазистационарным. Однако могут встречаться случаи, когда из-за стабильности некоторых средств измерений нарушается предположение о стационарности процесса и ухудшается его воспроизводимость. Выбор интервалов варьирования в значительной степени определяется спецификой применения теории планирования эксперимента при метрологических исследованиях. В силу плавного рельефа поверхности $Y(x)$ представляется возможность варьировать факторы в сравнительно широких пределах, что не исключает точное описание искомой поверхности полиномом невысокого порядка. С другой стороны, определяемое экспериментально значения погрешности прибора при “нормальных” условиях (т.е. при отсутствии влияния внешних факторов) и погрешность в присутствии внешних факторов могут мало отличаться друг от друга. Поэтому к выбору значений интервалов варьирования внешних факторов следует подходить с осторожностью. Слишком большое их значение может привести к ложному заключению о характере $Y(x)$, например, о отсутствии у этой поверхности экстремума. При малом их значении изменение погрешности исследуемого прибора может быть неразличимо на фоне погрешности эксперимента. Таким образом отмечены следующие особенности:

- исследуемый параметр является монотонно изменяющейся функцией внешних эксплуатационных факторов;
- необходим учёт экспериментальных погрешностей определения исследуемого параметра прибора и значение варьлируемых факторов;
- эффект неадекватности является функцией от погрешностей эксперимента:

$$\left| Y(x, \beta) - \bar{Y}(x, b) \right| = f(\Delta_{x_i} - \Delta_{y_i})$$

- изменения исследуемого параметра соизмеримы (в случае, когда интервалы варьирования факторов малы) с погрешностью эксперимента;
- метрологические характеристики исследуемого прибора нестабильны во времени т.е.

$$G_Y^2(\tau) \neq const; m_Y(\tau) \neq const.$$

где τ – время проведения эксперимента.

Таковы те особенности, которые необходимо учесть экспериментатору, прежде чем применять теорию планирования многофакторного эксперимента для метрологических исследований.

Секция 15. Техносферная безопасность и мониторинг окружающей среды

Литература

1. Сбор, обработка и анализ научно-технической информации. Корзун Н.Л. – Саратов: Вузовское образование, 2014. -55 с.
2. Автоматизация измерений, испытаний и контроля: учебное пособие / Латышенко К.П. -Саратов: Вузовское образование, 2013. -307 с.
3. Методы прогнозирования в квалиметрии машиностроения: учебное пособие / Хвастунов Р.М. -Саратов: Ай Пи Эр Медиа, 2012. - 188 с.