# Обзор данных по итогам выполнения работ по доплавке колб, на этапе OQ.

Были изготовлены 48 образцов продукции, по итогам изготовления образцов проведены измерения основных характеристик.

Целью работ было в том числе подбор параметров работы оборудования. Целевыми переменными были:

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| MAES | Внешний размер в области оплавления. | Результаты измерения, мм | Melted Area External Size |
| MAHS | Статус заплавления сквозного отверстия в зоне оплавления | 1 / Closed – отверстие заплавлено  0 / Open – наличие сквозного отверстия | Melted Area Hole Status  В базе фиксируем значение 1 / 0. В протоколах допускается использовать Aliases (closed / open). |
| MAWT | Минимальная толщина стенки заплавленного торца. | При наличии сквозного отверстия (MAHS = 0), указывается значение -1.  При заплавленном отверстии (MAHS = 1) – результат измерений, в мм. | Melted Area Wall Thickness |
| PCS | Статус соответствия продукции требованиям | 1 – Соответствует  0 – Не соответствует | Product Conformity Status |
| FMOP | Предпочтение со стороны оператора, выполняющего операцию итоговой доплавки. | 1 – Оператору было комфортно выполнять операцию  0 – Оператор не отметил комфорт выполнения операции | Final Melting Operator’s Prefer |

Ниже представлена обзорная информация по каждой из целевых переменных, а также модели, отражающие значимость управляемых факторов (характеристики предварительно оплавленного капиляра, параметры работы оборудования).

По итогам обзора полученных результатов, а также обсуждения особенностей производственного процесса, сделаны следующие предположения \ решения:

1. Не учитывать переменную LT\_F. Данная переменная определяет время работы источника лазерного излучения. В нашем сценарии, когда длительность процесса запаивания определяется оператором, целесообразно установить значение данной переменной на уровне 8000ms. Соответственно, из списка факторов переменная исключена, т.е. не проводится оценка значимости (т.к. процесс останавливался оператором).
2. Переменная OR\_F вообще не влияет. Опять же, увитывая особенности реализации процесса доплавки (процесс останавливается по нажатию оператором кнопки Reset), данная переменная никак фактически не влияет, т.е. не реализуется в реальном процессе доплавки.

# Обзор крайних случаев (наилучший и наихудший результаты).

В качестве наилучших выбраны образцы, имеющий оценку FMPR >=9, наихудшие FMPR <3

Наилучшие результаты для модели ОТ 0111.471-02:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| DUT id | LP | LT\_S | LT\_F | RS | OR\_F | FMPT\_0 | FMPT\_1 | MAES | MASS | MAHS | MAWT | CICS | PCS | FMOP | FMPR |
| 02\_6\_2 | SP + 330 bit | 30ms | 8000ms | 0,120 гр/ms | LT\_F + 2000 ms | 3.83 | 0 | 1.24 | 1 | 1 | 0.23 | 1 | 1 | 0 | 10 |
| 02\_2\_1 | SP + 330 bit | 30ms | 6000ms | 0,120 гр/ms | LT\_F + 1000 ms | 6.42 | 0 | 1.22 | 1 | 1 | 0.27 | 1 | 1 | 0 | 9 |
| 02\_2\_2 | SP + 330 bit | 30ms | 6000ms | 0,120 гр/ms | LT\_F + 1000 ms | 5.41 | 0 | 1.21 | 1 | 1 | 0.11 | 1 | 1 | 0 | 9 |
| 02\_3\_3 | SP + 290 bit | 40ms | 6000ms | 0,120 гр/ms | LT\_F + 2000 ms | 5.48 | 0 | 1.21 | 1 | 1 | 0.28 | 1 | 1 | 0 | 10 |
| 02\_7\_1 | SP + 290 bit | 40ms | 8000ms | 0,120 гр/ms | LT\_F + 1000 ms | 6.2 | 0 | 1.16 | 1 | 1 | 0.18 | 1 | 1 | 0 | 9 |
| 02\_7\_2 | SP + 290 bit | 40ms | 8000ms | 0,120 гр/ms | LT\_F + 1000 ms | 4.71 | 0 | 1.2 | 1 | 1 | 0.26 | 1 | 1 | 0 | 10 |
| 02\_7\_3 | SP + 290 bit | 40ms | 8000ms | 0,120 гр/ms | LT\_F + 1000 ms | 6.19 | 5.17 | 1.21 | 1 | 1 | 0.19 | 1 | 1 | 0 | 9 |
| 02\_8\_1 | SP + 330 bit | 40ms | 8000ms | 0,145 гр/ms | LT\_F + 2000 ms | 5.45 | 0 | 1.25 | 1 | 1 | 0.28 | 1 | 1 | 1 | 10 |
| 02\_8\_2 | SP + 330 bit | 40ms | 8000ms | 0,145 гр/ms | LT\_F + 2000 ms | 5.46 | 0 | 1.21 | 1 | 1 | 0.25 | 1 | 1 | 1 | 10 |
| 02\_8\_3 | SP + 330 bit | 40ms | 8000ms | 0,145 гр/ms | LT\_F + 2000 ms | 5.09 | 0 | 1.22 | 1 | 1 | 0.24 | 1 | 1 | 1 | 9 |
| 02\_4\_3 | SP + 330 bit | 40ms | 6000ms | 0,145 гр/ms | LT\_F + 1000 ms | 5.78 | 0 | 1.24 | 1 | 1 | 0.26 | 1 | 1 | 0 | 9 |
| 02\_1\_1 | SP + 290 bit | 30ms | 6000ms | 0,145 гр/ms | LT\_F + 2000 ms | 5.62 | 0 | 1.22 | 1 | 1 | 0.23 | 1 | 1 | 0 | 10 |
| 02\_1\_2 | SP + 290 bit | 30ms | 6000ms | 0,145 гр/ms | LT\_F + 2000 ms | 5.84 | 0 | 1.16 | 1 | 1 | 0.25 | 1 | 1 | 0 | 10 |
| 02\_1\_3 | SP + 290 bit | 30ms | 6000ms | 0,145 гр/ms | LT\_F + 2000 ms | 5.46 | 0 | 1.21 | 1 | 1 | 0.2 | 1 | 1 | 0 | 10 |
| 02\_5\_1 | SP + 290 bit | 30ms | 8000ms | 0,145 гр/ms | LT\_F + 1000 ms | 5.79 | 5.19 | 1.24 | 1 | 1 | 0.16 | 1 | 1 | 0 | 10 |
| 02\_5\_3 | SP + 290 bit | 30ms | 8000ms | 0,145 гр/ms | LT\_F + 1000 ms | 6.12 | 0 | 1.23 | 1 | 1 | 0.27 | 1 | 1 | 0 | 9 |

Данные образцы были произведены со следующим распределениями параметров работы оборудования

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

Наихудшие результаты для модели ОТ 0111.471-02:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| DUT id | LP | LT\_S | LT\_F | RS | OR\_F | FMPT\_0 | FMPT\_1 | FMPT\_2 | MAES | MASS | MAHS | MAWT | CICS | PCS | FMOP | FMPR |
| 02\_6\_3 | SP + 330 bit | 30ms | 8000ms | 0,120 гр/ms | LT\_F + 2000 ms | 5.21 | 5.21 | 4.93 | 1.29 | 1 | 1 | 0.05 | 1 | 0 | 0 | 2 |
| 02\_3\_1 | SP + 290 bit | 40ms | 6000ms | 0,120 гр/ms | LT\_F + 2000 ms | 6.22 | 4.32 | 5.02 | 1.18 | 1 | 0 | -1 | 1 | 0 | 0 | 3 |

Данные образцы были произведены со следующим распределениями параметров работы оборудования

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

Каких то однозначных выводов по сопоставлению параметров работы оборудования, использованных при изготовлении модели 02 для крайних случаев сделать нельзя –(

Для модели ОТ 0111.471-03. Данные наилучших образцов (DUT type = 03, FMPR >=9).

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| DUT id | LP | LT\_S | LT\_F | RS | OR\_F | FMPT\_0 | FMPT\_1 | FMPT\_2 | MAES | MASS | MAHS | MAWT | CICS | PCS | FMOP | FMPR |
| 03\_9\_1 | SP + 290 bit | 30ms | 6000ms | 0,145 гр/ms | LT\_F + 2000 ms | 6.18 | 0 | 0 | 1.45 | 1 | 1 | 0.33 | 1 | 1 | 0 | 10 |
| 03\_9\_2 | SP + 290 bit | 30ms | 6000ms | 0,145 гр/ms | LT\_F + 2000 ms | 6.19 | 0 | 0 | 1.4 | 1 | 1 | 0.26 | 1 | 1 | 0 | 10 |
| 03\_16\_3 | SP + 330 bit | 40ms | 8000ms | 0,145 гр/ms | LT\_F + 2000 ms | 5.65 | 0 | 0 | 1.41 | 1 | 1 | 0.32 | 1 | 1 | 0 | 9 |
| 03\_10\_2 | SP + 330 bit | 30ms | 6000ms | 0,120 гр/ms | LT\_F + 1000 ms | 6.19 | 0 | 0 | 1.42 | 1 | 1 | 0.31 | 1 | 1 | 0 | 10 |
| 03\_10\_3 | SP + 330 bit | 30ms | 6000ms | 0,120 гр/ms | LT\_F + 1000 ms | 5.61 | 0 | 0 | 1.41 | 1 | 1 | 0.28 | 1 | 1 | 0 | 10 |
| 03\_12\_1 | SP + 330 bit | 40ms | 6000ms | 0,145 гр/ms | LT\_F + 1000 ms | 5.54 | 0 | 0 | 1.42 | 1 | 1 | 0.26 | 1 | 1 | 0 | 10 |
| 03\_12\_3 | SP + 330 bit | 40ms | 6000ms | 0,145 гр/ms | LT\_F + 1000 ms | 6.19 | 0 | 0 | 1.38 | 1 | 1 | 0.26 | 1 | 1 | 0 | 10 |
| 03\_14\_2 | SP + 330 bit | 30ms | 8000ms | 0,120 гр/ms | LT\_F + 2000 ms | 5.66 | 0 | 0 | 1.38 | 1 | 1 | 0.27 | 1 | 1 | 0 | 9 |
| 03\_14\_3 | SP + 330 bit | 30ms | 8000ms | 0,120 гр/ms | LT\_F + 2000 ms | 5.15 | 0 | 0 | 1.4 | 1 | 1 | 0.28 | 1 | 1 | 0 | 10 |
| 03\_13\_1 | SP + 290 bit | 30ms | 8000ms | 0,145 гр/ms | LT\_F + 1000 ms | 5.93 | 0 | 0 | 1.4 | 1 | 1 | 0.2 | 1 | 1 | 1 | 10 |
| 03\_13\_2 | SP + 290 bit | 30ms | 8000ms | 0,145 гр/ms | LT\_F + 1000 ms | 5.22 | 0 | 0 | 1.37 | 1 | 1 | 0.2 | 1 | 1 | 1 | 10 |
| 03\_13\_3 | SP + 290 bit | 30ms | 8000ms | 0,145 гр/ms | LT\_F + 1000 ms | 5.92 | 0 | 0 | 1.35 | 1 | 1 | 0.29 | 1 | 1 | 1 | 9.5 |
| 03\_15\_1 | SP + 290 bit | 40ms | 8000ms | 0,120 гр/ms | LT\_F + 1000 ms | 6.18 | 0 | 0 | 1.35 | 1 | 1 | 0.28 | 1 | 1 | 1 | 10 |
| 03\_15\_2 | SP + 290 bit | 40ms | 8000ms | 0,120 гр/ms | LT\_F + 1000 ms | 5.21 | 0 | 0 | 1.37 | 1 | 1 | 0.26 | 1 | 1 | 1 | 10 |
| 03\_15\_3 | SP + 290 bit | 40ms | 8000ms | 0,120 гр/ms | LT\_F + 1000 ms | 5.58 | 5.65 | 5.46 | 1.4 | 1 | 1 | 0.22 | 1 | 1 | 1 | 10 |
| 03\_11\_2 | SP + 290 bit | 40ms | 6000ms | 0,120 гр/ms | LT\_F + 2000 ms | 5.75 | 0 | 0 | 1.37 | 1 | 1 | 0.3 | 1 | 1 | 0 | 10 |
| 03\_11\_3 | SP + 290 bit | 40ms | 6000ms | 0,120 гр/ms | LT\_F + 2000 ms | 6.03 | 0 | 0 | 1.4 | 1 | 1 | 0.28 | 1 | 1 | 0 | 10 |

Данные образцы были произведены со следующим распределениями параметров работы оборудования

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

Наихудшие результаты для модели ОТ 0111.471-03:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| DUT id | LP | LT\_S | LT\_F | RS | OR\_F | FMPT\_0 | MAES | MASS | MAHS | MAWT | CICS | PCS | FMOP | FMPR |
| 03\_9\_3 | SP + 290 bit | 30ms | 6000ms | 0,145 гр/ms | LT\_F + 2000 ms | 5.71 | 1.44 | 0 | 0 | -1 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| 03\_10\_1 | SP + 330 bit | 30ms | 6000ms | 0,120 гр/ms | LT\_F + 1000 ms | 6.69 | 1.43 | 0 | 1 | 0.29 | 1 | 1 | 0 | 3 |
| 03\_12\_2 | SP + 330 bit | 40ms | 6000ms | 0,145 гр/ms | LT\_F + 1000 ms | 5.75 | 1.48 | 0 | 1 | 0.25 | 1 | 1 | 0 | 2 |
| 03\_11\_1 | SP + 290 bit | 40ms | 6000ms | 0,120 гр/ms | LT\_F + 2000 ms | 5.58 | 1.44 | 0 | 0 | -1 | 1 | 0 | 0 | 1 |

Данные образцы были произведены со следующим распределениями параметров работы оборудования

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |

Аналогично случаю с моделью 02, каких то однозначных выводов по сопоставлению параметров работы оборудования, использованных при изготовлении модели 03 для крайних случаев сделать нельзя –(

## Проверка значимости факторов настройки оборудования.

Проверка проводилась в виде ранжирования эффектов по итогам непосредственных вычислений, а также дублировалась проведением регрессионного анализа.

Задачи:

1. Проранжировать факторы, в целях уменьшения пространства переменных для оптимизации
2. Проверить наличие взаимодействия между факторами
3. Проверить целесообразность проведения задачи по оптимизации для различных типов изделий (02 / 03)

Непосредственная оценка значимости переменных параметров работы оборудования для целевых переменной FMPR.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Переменная | 02 | | | 03 | | |
| MAWT | FMOP | FMPR | MAWT | FMOP | FMPR |
| LP |  |  | -0,583 |  |  | -0,458 |
| LT\_S |  |  | -0.083 |  |  | -0,29 |
| RS |  |  | 1,25 |  |  | -0,375 |
| LP\*LT\_S |  |  | 1.25 |  |  | -0,375 |
| LP\*RS |  |  | -0.083 |  |  | -0,29 |

**Для изделий модели 02** (ОТ 0111.471-02) значимые факторы для целевой переменной FMPR (в порядке снижения значимости: RS, LP. Фактор LT выглядит как малозначащий.

Общая модель FMPR = b0 + 1.25\*RS – 0.583\*LP + 1.25\*LP\*LT\_S

Для увеличения значения FMPR следуем проверить следующую конфигурацию:

LP = -1; LT\_S = -1; RS = 1;

С учетом градиента, следует также проверить следующие значения

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Шаг RS=1 | | Шаг LP = 1 | |
|  | Относительное значение | Абсолютное значение | Относительное значение | Абсолютное значение |
| LP | -0.46 | SP + 301 | -1 | SP + 290 |
| RS | 1 | 0,145 гр/ms | 2.14 | 0,159 гр/ms |
| LT\_S | -0.06 | 35ms | -0,14 | 34ms |

При изготовлении – целевая переменная FMPR и доля годных изделий.

**Для изделий же 03** (ОТ 0111.471-03) значимые факторы для целевой переменной FMPR (в порядке снижения значимости): LP, RS, LT\_S, LP\*LT\_S, LP\*RS. Значимость всех факторов, включая взаимодействие, сопоставима.

Скорее всего проблема в недостаточности данных.

Тем не менее, текущие данные рекомендуют работать на конфигурации настроек (выделены зеленым):

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Переменная | Коэффициент b | Конфигурация | | | | | |
| LP | -0,458 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 |
| LT\_S | -0,29 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 | 1 |
| RS | -0,375 | -1 | -1 | -1 | 1 | -1 | 1 |
| LP\*LT\_S | -0,375 | 1 | -1 | -1 | 1 | 1 | 1 |
| LP\*RS | -0,29 | 1 | -1 | 1 | -1 | -1 | 1 |
|  | FMPR | 0,458 | 0,872 | 0,628 | 0,288 | -0,458 | -1,788 |

Но судя по всему, разница между 2-мя вариантами будет совсем небольшая, и лучше выбрать конфигурацию с LP=-1 (мощность поменьше), т.к. при этих значениях оператору было комфортно работать (см. переменная FMOP). Но формально более приоритетная модель со следующими фактическими значениями параметров программы (с учетом градиента):

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Шаг LP=1 | | Шаг LP = 1.5 | |
|  | Относительное значение | Абсолютное значение | Относительное значение | Абсолютное значение |
| LP | -1 | SP + 290 | -1.5 | SP + 280 |
| RS | -0,818 | 0,122 гр/ms | -1.228 | 0,117 гр/ms |
| LT\_S | -0,61 | 32ms | -0.95 | 30ms |

Модель FMOP для продукции ОТ 0111.471-02

Проверка корреляции признаков:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Variable | Correlations (Aggregated-1 in Val\_2\_samples\_dataset\_processing) Include condition: Contains("DUT id", "02\_") | | | | | |
| dh | ml | LP\_n | LT\_S\_n | RS\_n | FMOP |
| dh | 1.000000 | -0.536121 | 0.180592 | -0.048158 | 0.072237 | -0.086459 |
| ml | -0.536121 | 1.000000 | -0.145287 | 0.345056 | -0.236091 | -0.082370 |
| LP\_n | 0.180592 | -0.145287 | 1.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.377964 |
| LT\_S\_n | -0.048158 | 0.345056 | 0.000000 | 1.000000 | 0.000000 | 0.377964 |
| RS\_n | 0.072237 | -0.236091 | 0.000000 | 0.000000 | 1.000000 | 0.377964 |
| FMOP | -0.086459 | -0.082370 | 0.377964 | 0.377964 | 0.377964 | 1.000000 |

Значимо скоррелированных признаков (>0.7) нет, соответственно все перечисленные признаки используем для построения модели.

Модель регрессии для целевой переменной FMOP:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N=24 | Regression Summary for Dependent Variable: FMOP (Aggregated-1 in Val\_2\_samples\_dataset\_processing)  R= .70435143 R?= .49611093 Adjusted R?= .35614175  F(5,18)=3.5444 p<.02092 Std.Error of estimate: .27108  Include condition: Contains("DUT id", "02\_") | | | | | |
| b\* | Std.Err. (of b\*) | b | Std.Err. (of b) | t(18) | p-value |
| Intercept |  |  | 1.37327 | 0.868473 | 1.58125 | 0.131233 |
| LP\_n | 0.394083 | 0.170581 | 0.13033 | 0.056414 | 2.31024 | 0.032938 |
| LT\_S\_n | 0.454538 | 0.182062 | 0.15032 | 0.060211 | 2.49661 | 0.022466 |
| RS\_n | 0.337423 | 0.173560 | 0.11159 | 0.057399 | 1.94413 | 0.067679 |
| dh | -0.301658 | 0.203224 | -1.44133 | 0.971005 | -1.48436 | 0.155013 |
| ml | -0.264019 | 0.222036 | -1.90287 | 1.600292 | -1.18908 | 0.249859 |

Принимая во внимание полученные уровни значимости и соответствующие p-value, корректируем список параметров модели, удалив переменную ml из списка переменных (наименьший b, наибольший p-value). Модель 2 после удаления переменной ml:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N=24 | Regression Summary for Dependent Variable: FMOP (Aggregated-1 in Val\_2\_samples\_dataset\_processing) R= .67567017 R?= .45653018 Adjusted R?= .34211548 F(4,19)=3.9901 p<.01627 Std.Error of estimate: .27402 Include condition: Contains("DUT id", "02\_") | | | | | |
| b\* | Std.Err. (of b\*) | b | Std.Err. (of b) | t(19) | p-value |
| Intercept |  |  | 0.393423 | 0.277203 | 1.419260 | 0.172022 |
| dh | -0.170670 | 0.172627 | -0.815464 | 0.824815 | -0.988662 | 0.335253 |
| LP\_n | 0.408786 | 0.171975 | 0.135193 | 0.056876 | 2.377002 | 0.028116 |
| LT\_S\_n | 0.369745 | 0.169330 | 0.122282 | 0.056001 | 2.183573 | 0.041739 |
| RS\_n | 0.390293 | 0.169585 | 0.129077 | 0.056085 | 2.301456 | 0.032854 |

Отказываться от dh не хочется, т.к. переменная точно влияет на результат. Останавливаемся на данной модели.

Рейтинг переменных, влияющих на FMOP для продукции типа 02: LP (0.408786), RS(0.39), LT(0.37), dh (-0.17).

Итоговая модель: FMOP = 0.39 – 0.17 dh + 0.41 LP + 0.37 LT + 0.39 RS

Соответственно, дальнейшая оптимизация целесообразна в направлении: уменьшение dh (определить требования к максимальному диаметру отверстия на этапе предоплавки), увеличение значений переменных LP, LT, RS.

Модель FMOP для продукции ОТ 0111.471-03

Коэффициенты корреляции признаков:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Variable | Correlations (Aggregated-1 in Val\_2\_samples\_dataset\_processing) Include condition: Contains("DUT id", "03\_") | | | | | | |
| LP\_n | LT\_S\_n | RS\_n | FMPT\_0 | dh | ml | FMOP |
| LP\_n | 1.000000 | 0.000000 | 0.000000 | 0.185024 | 0.064029 | -0.008784 | -0.577350 |
| LT\_S\_n | 0.000000 | 1.000000 | 0.000000 | 0.017666 | 0.056025 | -0.079060 | 0.000000 |
| RS\_n | 0.000000 | 0.000000 | 1.000000 | 0.170148 | 0.112050 | 0.026353 | 0.000000 |
| FMPT\_0 | 0.185024 | 0.017666 | 0.170148 | 1.000000 | 0.329829 | -0.094392 | -0.257129 |
| dh | 0.064029 | 0.056025 | 0.112050 | 0.329829 | 1.000000 | -0.797634 | -0.217181 |
| ml | -0.008784 | -0.079060 | 0.026353 | -0.094392 | -0.797634 | 1.000000 | 0.025359 |
| FMOP | -0.577350 | 0.000000 | 0.000000 | -0.257129 | -0.217181 | 0.025359 | 1.000000 |

Есть существенная корреляция между признаками dh и ml, из дальнейшей обработки исключим признак ml.

Получаемая модель:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N=24 | Regression Summary for Dependent Variable: FMOP (Aggregated-1 in Val\_2\_samples\_dataset\_processing)  R= .64380752 R?= .41448813 Adjusted R?= .20783688  F(6,17)=2.0057 p<.12112 Std.Error of estimate: .39369  Include condition: Contains("DUT id", "03\_") | | | | | |
| b\* | Std.Err. (of b\*) | b | Std.Err. (of b) | t(19) | p-value |
| Intercept |  |  | 0.509329 | 0.271904 | 1.87320 | 0.076509 |
| LP\_n | -0.565578 | 0.182985 | -0.244903 | 0.079235 | -3.09085 | 0.006017 |
| LT\_S\_n | 0.010300 | 0.182895 | 0.004460 | 0.079196 | 0.05632 | 0.955676 |
| RS\_n | 0.020601 | 0.183769 | 0.008920 | 0.079574 | 0.11210 | 0.911919 |
| dh | -0.183853 | 0.184438 | -0.764606 | 0.767036 | -0.99683 | 0.331373 |

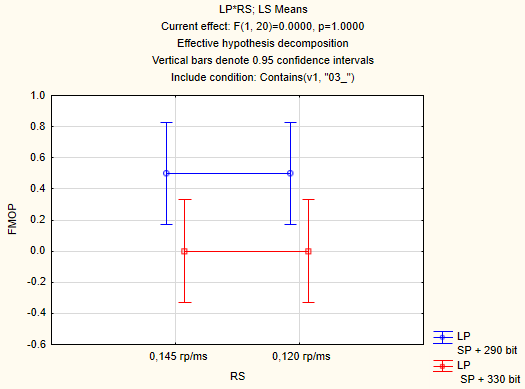
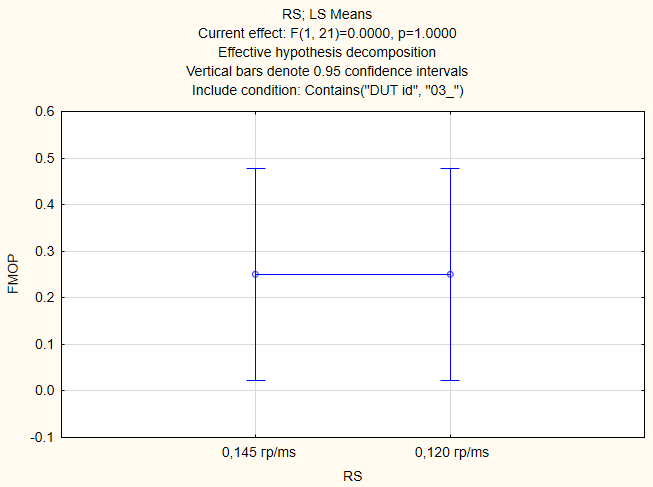
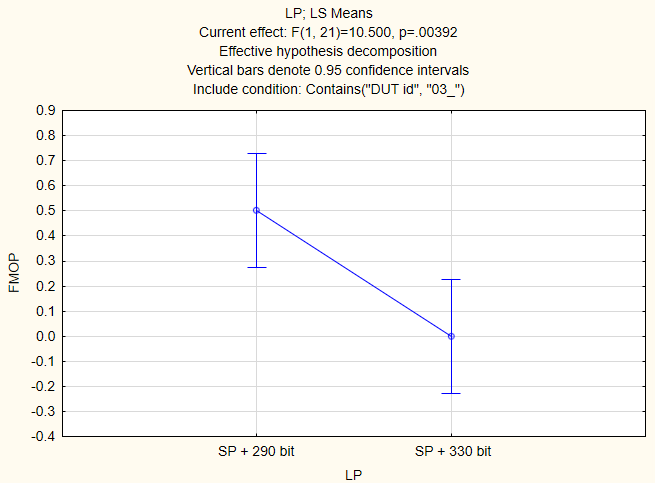
Наиболее значимым фактором является LP, причем знак отрицательный, т.е. уменьшение значения LP приводит к увеличению значения FMOP. Далее по значимости (величина) идет фактор dh также с отрицателным знаком, т.е. чем меньше начальный диаметр – тем выше значение FMOP.

Удалим из модели LT и RS как незначащие факторы. Итоговая модель:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N=24 | Regression Summary for Dependent Variable: FMOP (Aggregated-1 in Val\_2\_samples\_dataset\_processing) R= .60493316 R?= .36594413 Adjusted R?= .30555785 F(2,21)=6.0601 p<.00836 Std.Error of estimate: .36860 Include condition: Contains("DUT id", "03\_") | | | | | |
| b\* | Std.Err. (of b\*) | b | Std.Err. (of b) | t(21) | p-value |
| Intercept |  |  | 0.505242 | 0.256865 | 1.96695 | 0.062541 |
| LP\_n | -0.565764 | 0.174119 | -0.244983 | 0.075396 | -3.24929 | 0.003838 |
| dh | -0.180956 | 0.174119 | -0.752557 | 0.724124 | -1.03927 | 0.310500 |

Формально, список факторов по значимости: LP, dh. Но низкое значение R2 (0.36) говорит о том, что модель плохо описывает данные –(

Информация по разнице средних значений для различных уровней переменных:



Модель FMPR для продукции ОТ 0111.471-02

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N=24 | Regression Summary for Dependent Variable: FMPR (Aggregated-1 in Val\_2\_samples\_dataset\_processing)  R= .34201097 R?= .11697150 Adjusted R?= -----  F(3,20)=.88311 p<.46663 Std.Error of estimate: 2.0797  Include condition: Contains(v1, "02\_") | | | | | |
| b\* | Std.Err. (of b\*) | b | Std.Err. (of b) | t(19) | p-value |
| Intercept |  |  | 8.541667 | 0.424510 | 20.12126 | 0.000000 |
| LP\_n | -0.144368 | 0.210122 | -0.291667 | 0.424510 | -0.68707 | 0.499930 |
| LT\_S\_n | -0.020624 | 0.210122 | -0.041667 | 0.424510 | -0.09815 | 0.922788 |
| RS\_n | 0.309361 | 0.210122 | 0.625000 | 0.424510 | 1.47229 | 0.156506 |

Довольно низкокачественная модель (R2 = 0.11), особо на нее полагаться нельзя. Максимум – отдать приоритет переменной RS как значимой, с положительным знаком.

Модель FMPR для продукции ОТ 0111.471-03

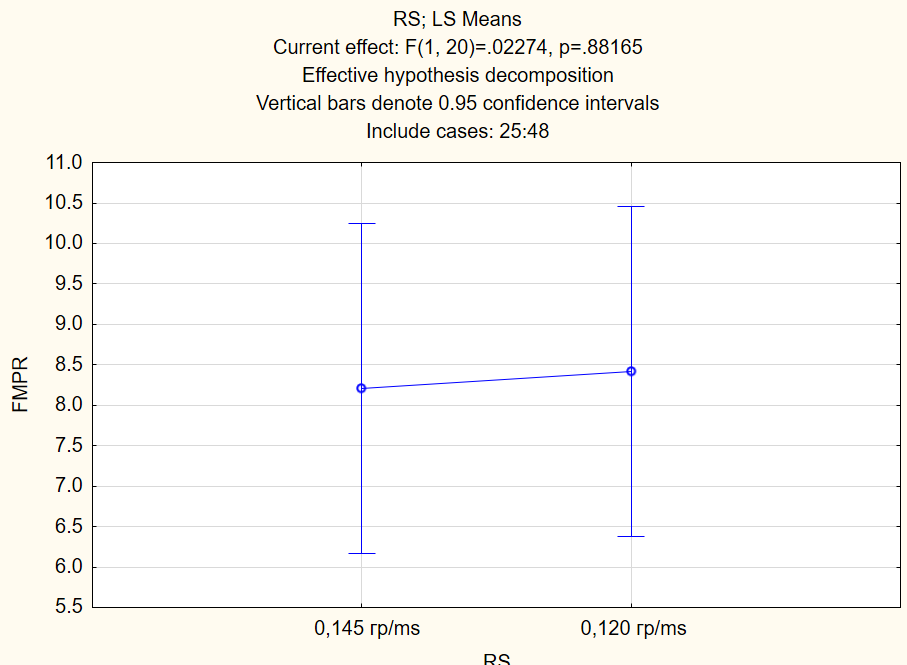
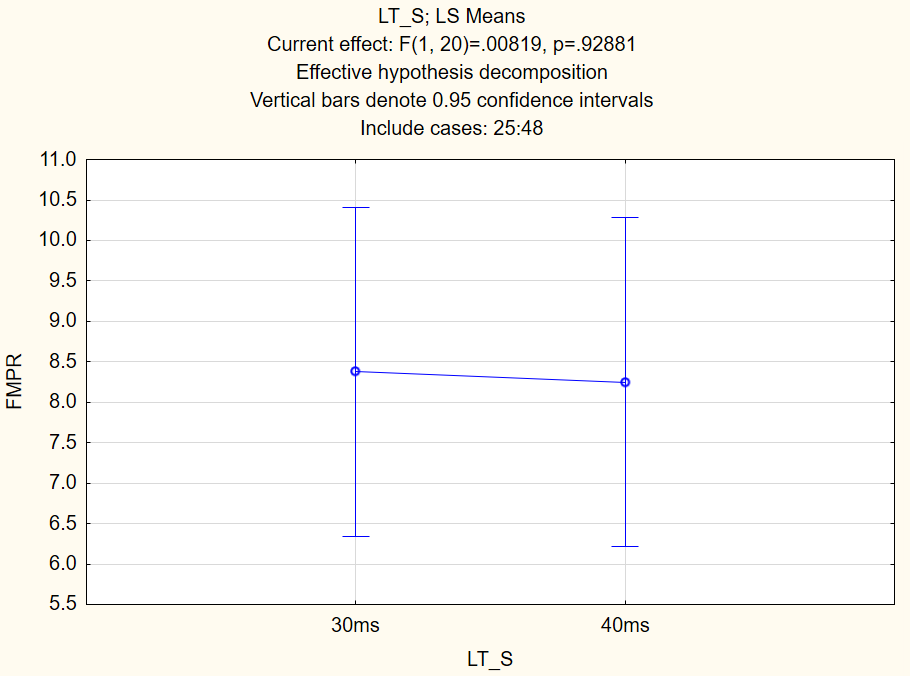
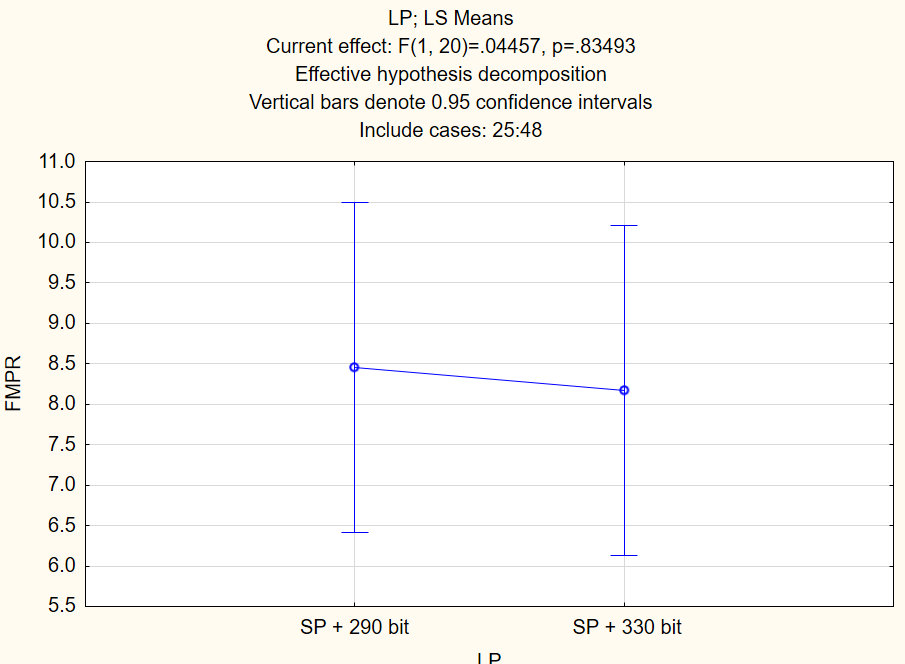
|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N=24 | Regression Summary for Dependent Variable: FMPR (Aggregated-1 in Val\_2\_samples\_dataset\_processing)  R= .52871415 R?= .27953865 Adjusted R?= .07941050  F(5,18)=1.3968 p<.27229 Std.Error of estimate: 3.0335  Include condition: Contains(v1, "03\_") | | | | | |
| b\* | Std.Err. (of b\*) | b | Std.Err. (of b) | t(19) | p-value |
| Intercept |  |  | 42.1722 | 13.31608 | 3.16701 | 0.005335 |
| ml | -0.887366 | 0.339519 | -57.9026 | 22.15434 | -2.61360 | 0.017589 |
| dh | -0.671105 | 0.341723 | -19.9492 | 10.15805 | -1.96388 | 0.065179 |
| LP\_n | -0.011943 | 0.201017 | -0.0370 | 0.62216 | -0.05941 | 0.953278 |
| LT\_S\_n | -0.052750 | 0.200708 | -0.1633 | 0.62121 | -0.26282 | 0.795675 |
| RS\_n | 0.064927 | 0.205242 | 0.2010 | 0.63524 | 0.31634 | 0.755382 |

Переменные ml и dh у нас неподконтрольные, пока удалим из их модели для оценки направления оптимизации именно параметров программы доплавления.

ANOVA анализ выдает следующие результаты

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Effect | Univariate Tests of Significance for FMPR (Aggregated-1 in Val\_2\_samples\_dataset\_processing) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition Include cases: 25:48 | | | | |
| SS | Degr. of (Freedom) | MS | F | p |
| Intercept | 1658.344 | 1 | 1658.344 | 144.8072 | 0.000000 |
| LP | 0.510 | 1 | 0.510 | 0.0446 | 0.834933 |
| LT\_S | 0.094 | 1 | 0.094 | 0.0082 | 0.928807 |
| RS | 0.260 | 1 | 0.260 | 0.0227 | 0.881647 |
| Error | 229.042 | 20 | 11.452 |  |  |

Для всех переменных p-value >> 0.05 –((((( Разница в значении целевой переменной несущественная по каждого из факторов



Формально модель следующая:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N=24 | Regression Summary for Dependent Variable: FMPR (Aggregated-1 in Val\_2\_samples\_dataset\_processing) R= .06132366 R?= .00376059 Adjusted R?= ----- F(3,20)=.02517 p<.99443 Std.Error of estimate: 3.3841 Include cases: 25:48 | | | | | |
| b\* | Std.Err. (of b\*) | b | Std.Err. (of b) | t(20) | p-value |
| Intercept |  |  | 8.312500 | 0.690775 | 12.03358 | 0.000000 |
| LP\_n | -0.047118 | 0.223186 | -0.145833 | 0.690775 | -0.21112 | 0.834933 |
| LT\_S\_n | -0.020193 | 0.223186 | -0.062500 | 0.690775 | -0.09048 | 0.928807 |
| RS\_n | -0.033656 | 0.223186 | -0.104167 | 0.690775 | -0.15080 | 0.881647 |

R2 оооочень низкий, особо полагаться нельзя на результаты, да и p-value для всех переменных >> 0.05.

Оценка влияния dh на итоговый статус продукта (FMPR).

Задача – проверить есть ли связь между качеством результата (оценка FMPR) и начальным диаметром отверстия.

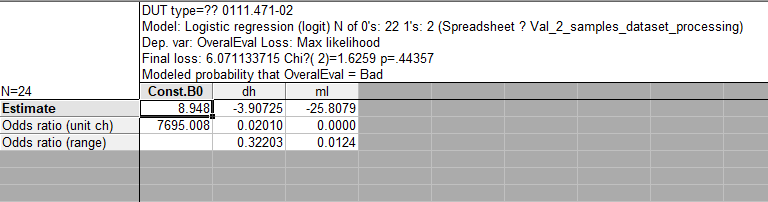
Для проверки – для начала введем доп.переменную (bFMPR), правило классификации по пороговому значению FMPR (>5 – Good, иначе Bad), далее – логистическая регрессия. Параллельно – визуализировать распределение значений dh, ml в зависимости от принадлежности к модели продукта и итогового класса продукта (Good, Bad).

Использовался порог FMPR\_threshhold = 5.

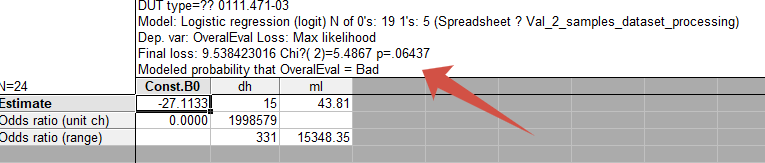
|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

Для модели ОТ 0111.471-02 медианное значение для условно хороших незначительно побольше, но надо учитывать, что выборка минимальная (мало образцов класса Bad).

Для модификации ОТ 0111.471-02 модель лог.регрессии неинформативная (p-val >> 0.05)



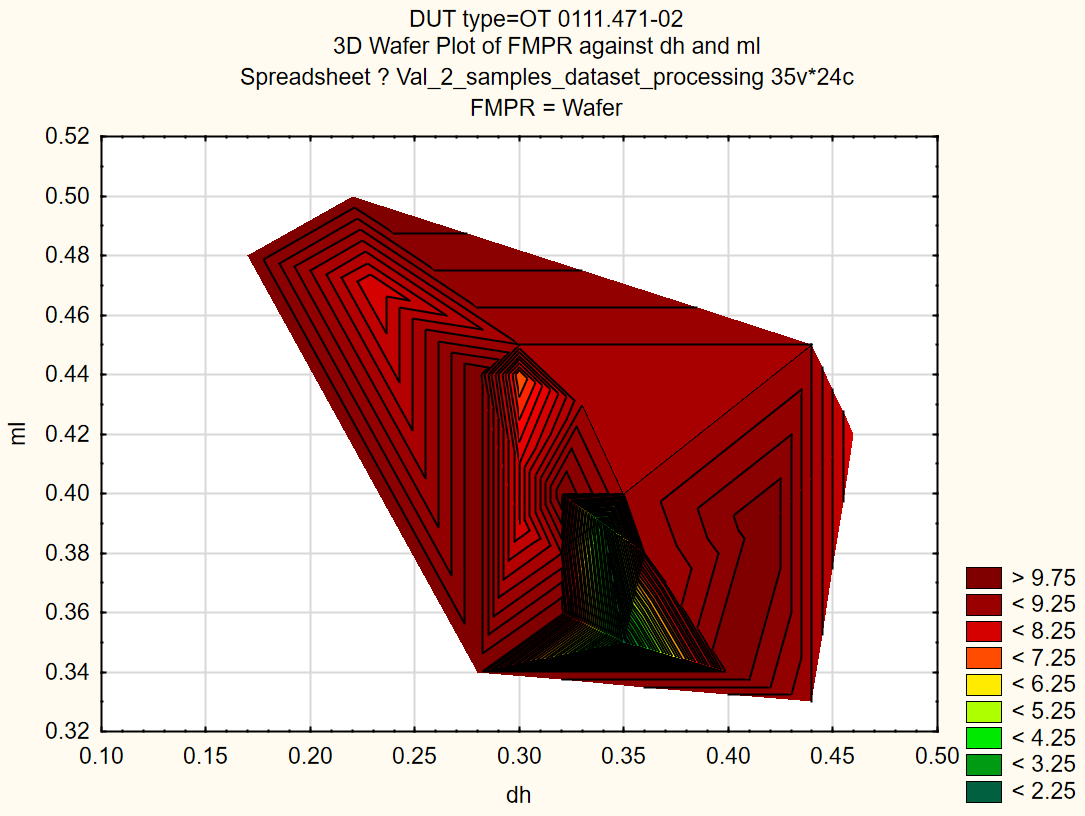
А вот для модификации ОТ 0111.471-03 – модель в принципе приемлемая (p-val 0.06), то есть по значениям dh и ml можно классифицировать результирующий класс продукта (good, bad).



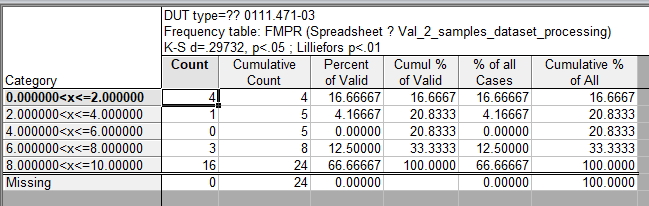
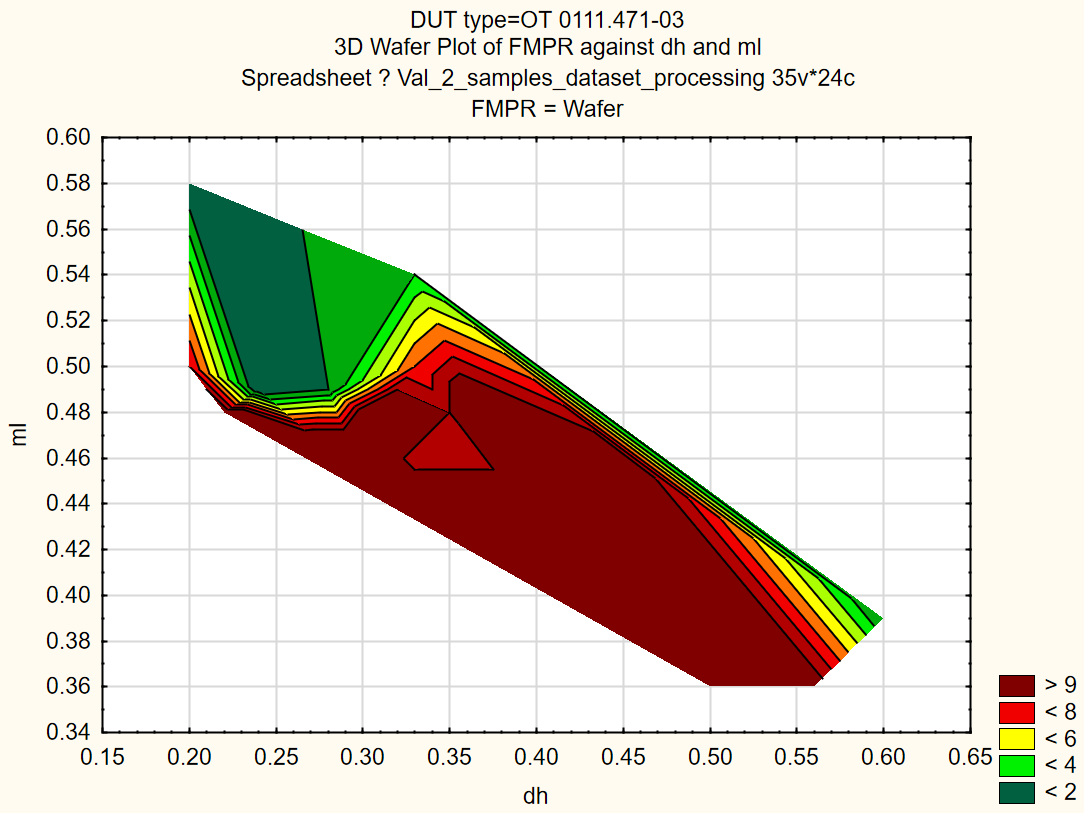
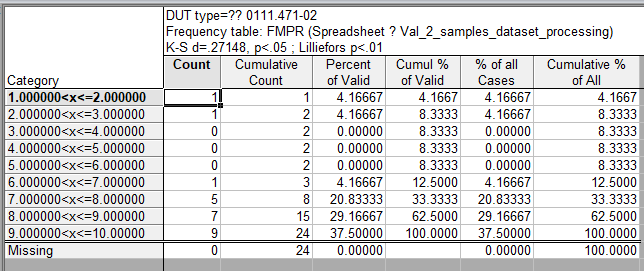
Коэффициенты b1 для dh и ml положительные, соответственно вероятность классификации как Bad повышается при увеличении значений dh и ml (и уменьшается, при работе с небольшими dh / ml).

Scaterplot оценка vs диаметр

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | ОТ 0111.471-02 | ОТ 0111.471-03 |
| dh |  |  |
| ml |  |  |



Для модификации 02 по текущим данным хорошие результаты получаются при dh <0.3. Но надо отметить сильную несбалансированность выборки, у нас буквально 2 образца, имеющих оценку FMPR < 5 и классифицированных как Bad



Для модификации 03 выборка также несбалансированная, тем не менее области dh/ml сконцентрированы, соответственно можно выделить области приемлемых диапазонов значений (в которых мы в итоге получали хорошие оценки FMPR). Это область dh = 0.3 - 0.45 и ml < 0.45