

## МОДЕЛЬ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ И РАСЧЕТ ДОПУСТИМЫХ ДВИЖЕНИЙ ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ПЕРЕМЕЩЕНИИ МЕХАНИЗМОВ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ МАШИНОЙ ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ

Зона обслуживания машины перегрузочной (МП) представляет собой пространство сложной конфигурации (рис.1), состоящее из реакторного отсека (АЗ1), трёх отсеков бассейнов выдержки (БВ1, БВ2, БВ3) и отсека универсального гнезда (УГ), включающего зону транспортного чехла для свежих ТВС и гермопеналов (ГП) и зону для размещения вспомогательных приспособлений (ВП). Переход МП из отсека в отсек осуществляется через транспортные коридоры. По пространству активной зоны и бассейнов выдержки размещены ячейки для установки ТВС. Рабочая зона также содержит тумбы, стенки и уступы, имеющие форму параллелепипедов или цилиндров.

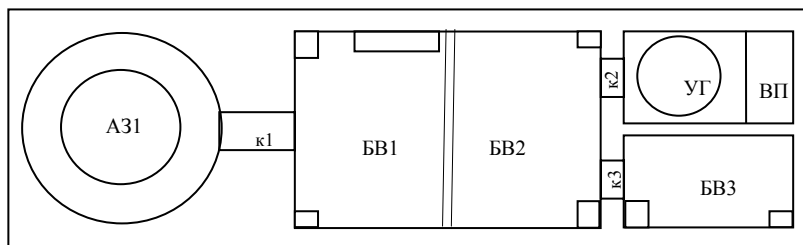


Рис. 1. Схема рабочей зоны машины перегрузочной

**Модель рабочей зоны** машины перегрузочной представляет собой совокупность геометрических фигур – прямоугольных параллелепипедов и цилиндров, которые могут являться "телами" или "пустотами".

Каждая такая фигура описывается в массиве-картограмме координатами крайних точек в трёхмерной системе координат, привязанных к показаниям датчиков положения моста, тележки и рабочей штанги машины перегрузочной с указанием признаков типа фигуры (параллелепипед/цилиндр) и способа наполнения ("те-

ло"/"пустота").

Грузы, перемещаемые в рабочей зоне (тепловыделяющие сборки, гермопеналы, пеналы СОДС, пробки пеналов СОДС и пробки гермопеналов), представляются в массиве-картограмме как цилиндры-тела. Каждый из этих элементов описывается в картограмме типом ячейки, в которой расположен груз, кодом груза в ячейке (0 для пустой ячейки), и координатой центра дна ячейки в трёхмерной системе координат. Радиус и высота каждого типа груза содержится в массиве типов грузов.

Такое представление рабочей зоны позволяет настраиваться на любую конфигурацию рабочей зоны конкретного объекта с достаточной степенью приближения и оперативно вносить все ограничения на перемещение рабочей штанги и ТВ-камеры без корректировки программного обеспечения.

Массив-картограмма хранится в ЭСППЗУ (электрически стираемое перепрограммируемое постоянное запоминающее устройство) контроллера. При изменении координат расположения объектов рабочей зоны, их размеров или появлении новых объектов массив-картограмма, размещенный в ЭСППЗУ контроллера, может быть оперативно изменён средствами верхнего уровня (ВУ) системы управления МП.

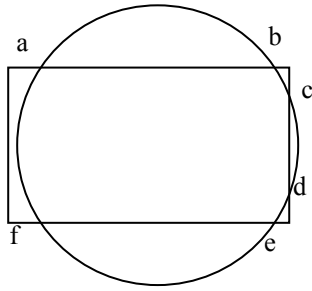
### **Определение безопасного положения ТВ-камеры**

Первоначально вся окружность вращения ТВ-камеры объявляется запретной для вращения. Далее производится сечение этой окружности "пустотой" – зоной, в которой расположена рабочая штанга (окружностью для активной зоны и прямоугольником для других бассейнов выдержки).

При формировании массива угловых интервалов безопасного положения ТВ-камеры в конечной и текущей точках маршрута последовательно просматриваются все элементы массива-картограммы, причем тела ("пустоты"), лежащие строго ниже, и "пустоты", лежащие строго выше координаты ТВ-камеры и рабочей штанги по высоте, из рассмотрения исключаются.

С каждым новым элементом, расположенным в зоне, (если он "подходит" по высоте) производится корректировка объединенного массива интервалов безопасного положения ТВ-камеры (с учётом наложения интервалов). Одновременно определяется минимальное расстояние до препятствия по направлению движения и угловое положение точки на препятствии с минимальным расстоянием до центра рабочей штанги.

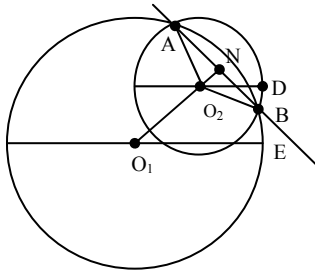
Если элемент – параллелепипед и тело – препятствие, то его



**Рис.2. Сечение окружности вращения ТВ-камеры прямоугольником**

для вращения телекамеры становятся угловые интервалы  $(b,c)$ ,  $(d,e)$ ,  $(f,a)$ . Если же элемент – "пустота", то эти угловые интервалы становятся доступными (безопасными) для вращения телекамеры.

Рассмотрим построение сечения окружности вращения ТВ-камеры окружностью (рис. 3). Радиус основания элемента-цилиндра увеличивается на  $\Delta_{ТВ}$ , если это – тело, и уменьшается на  $\Delta_{ТВ}$ , если это – "пустота". Доступный сегмент вращения ТВ-камеры в этом случае определяется следующим образом.



**Рис.3. Сечение окружности вращения ТВ-камеры окружностью**

размеры увеличиваются на  $\Delta_{ТВ}$ , иначе (если это "пустота") его размеры уменьшаются на  $\Delta_{ТВ}$  (безопасное расстояние от ТВ-камеры до препятствия) в каждую сторону (по  $X,Y$ ). Далее для этого элемента строится массив угловых интервалов пересечения проекции окружности вращения ТВ-камеры и проекции получившегося в результате растягивания (сжатия) проекции параллелепипеда на плоскость  $(X,Y,0)$  (рис.2). В приведённом примере, если элемент – тело, то "запретными"

Если  $O_1$  – центр основания проекции модифицированного элемента-цилиндра, а  $O_2$  – центр поворотной площадки ТВ-камеры и эти две окружности пересекаются в точках  $A$  и  $B$ , то прямая  $AB$  является радикальной осью кругов  $O_1$  и  $O_2$ . Если координаты точек  $O_1$  и  $O_2$  –  $(x_a, y_a)$  и  $(x_c, y_c)$  соответственно, то расстояние между центрами этих кругов  $d$  вычисляется по формуле:

$$d = \sqrt{(x_a - x_c)^2 + (y_a - y_c)^2}.$$

Если  $r_c$  – радиус поворотной площадки ТВ-камеры, а  $r_a$  – радиус основания проекции модифицированного элемента-цилиндра, то  $d < r_a - r_c$ , при этом указанные выше окружности не пересекаются, иначе можно вычислить точки пересечения окружностей. По-

сколькx прямая  $AB$  является радикальной осью кругов  $O_1$  и  $O_2$ , то  $L$  – длина отрезка  $O_2N$  вычисляется по формуле:  $L = d/2 + (r_c^2 - r_a^2)/2d$ . Угол  $NO_2D$  ( $\beta$ ) равен углу  $NO_1E$ , который можно вычислить по формуле:  $\beta = \arccos((x_c - x_a)/d)$ . Угол  $AO_2N$  ( $\varphi$ ) равен углу  $NO_2B$  и может быть вычислен по формуле:  $\varphi = \arccos(L/r_c)$ .

Тогда, если элемент – тело, «запретная» для вращения ТВ-камеры зона будет лежать в интервале  $(\beta+\varphi, \beta-\varphi)$  в направлении роста угла. Если же элемент – "пустота", то эта зона становится доступной (безопасной) для вращения ТВ-камеры. «Запретной» для вращения является также зона от  $1,75\pi$  до  $2\pi$  (это ограничение связано с конструкцией поворотной площадки ТВ-камеры).

Если задано фиксированное конечное положение ТВ-камеры в точке наведения и это значение попадает в "запретный" угловой интервал, то вырабатывается блокировка наведения по опасному расстоянию ТВ-камеры до препятствия.

Если конечное положение ТВ-камеры в задании не определено, то в качестве заданного положения выбирается ближайшее к текущему "безопасное" положение ТВ-камеры.

### Расчет ограничений на движение МП внутри одной зоны

При расчёте ограничений на движение МП внутри одной зоны вначале определяется возможность поворота ТВ-камеры из текущего положения в заданное в конечной точке маршрута по массиву угловых интервалов безопасного положения ТВ-камеры в конечной точке маршрута. Такая возможность существует, если угловой интервал  $(\varphi_1, \varphi_2)$  не пересекается ни с одним из "запретных" угловых интервалов указанного массива.

Аналогичным образом определяется возможность поворота ТВ-камеры из текущего положения в заданное в текущей точке маршрута по массиву угловых интервалов безопасного положения ТВ-камеры в текущей точке маршрута.

Если и в текущей, и в конечной точке маршрута невозможен поворот ТВ-камеры в заданное (расчётное для конечного пункта) положение, то необходимо включить в маршрут промежуточную точку разворота ТВ-камеры. Для бассейнов выдержки БВ3 и БВ4 (в силу их небольших размеров) в качестве точки разворота выбирается центр бассейна.

Для бассейнов БВ1 и БВ2 зона разворота ТВ-камеры – прямоугольник со сторонами, отстоящими от границ объединённой зоны на расстоянии  $S_l$  по оси  $Y$  и  $S_m$  по оси  $X$  (рис. 4), где

$$S_l = R_{ТВ} + \Delta_{ТВ} + L_{lf} \text{ и } S_m = R_{ТВ} + \Delta_{ТВ} + L_{mf}.$$

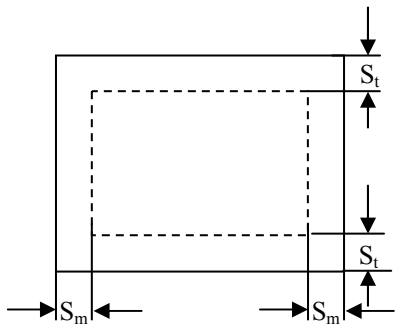


Рис. 4. Зона поворота ТВ-камеры для БВ1, БВ2

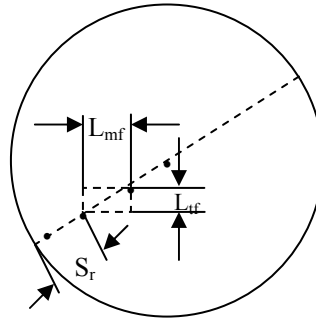


Рис. 5. Выбор точки поворота ТВ-камеры для активной зоны

В качестве точки разворота выбирается ближайшая к РШ точка зоны разворота.

Для активной зоны выбирается точка на прямой, проходящей через центр АЗ и текущее положение РШ и отстоящая от границы АЗ на расстояние  $S_r = R_{ТВ} + \Delta_{ТВ}$ . Далее эта точка смещается в сторону центра АЗ на расстояние  $L_{tf}$  по оси  $Y$  и  $L_{mf}$  по оси  $X$  (рис. 5), и эта точка используется в качестве точки разворота.

Расчёт ограничений на перемещение моста и тележки для текущего задания на наведение осуществляется в каждом контроллерном цикле (рис. 6).

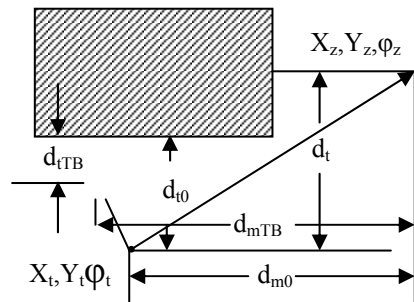


Рис.6. Контроль габаритных ограничений

Вначале допустимое движение мостом  $m_d$  и тележкой  $t_d$  устанавливается равным заданному, т.е.  $d_m=|X_z - X_t|$  и  $d_t=|Y_z - Y_t|$  соответственно. Модуль просматривает все элементы картограммы, за исключением лежащих вне текущей зоны.

Любое тело-препятствие рассматривается (в проекции) как прямоугольник. Если тело – цилиндр, то в качестве препятствия рассматривается описывающий его основание квадрат, ориентированный по осям  $X, Y$ . Очевидно, что в этом случае получаем более сильные ограничения. Такое допущение сделано с целью сокращения объёма необходимых вычислений. Размер прямоугольника-препятствия увеличивается на  $\Delta$  (минимально допустимое расстояние от РШ до препятствия) в каждую сторону. Расстояния в данном случае суть разность координат текущего положения РШ и ближайшей грани препятствия.

Если тело не мешает отдельному движению моста и тележки, то эти значения принимаются равными  $d_m$  и  $d_t$  соответственно.

Далее размер исходного прямоугольника-препятствия увеличивается на  $\Delta_{ТВ}$  в каждую сторону. Вычисляются  $d_{mТВ}$  – расстояние по оси  $X$  от текущего положения ТВ-камеры до препятствия и  $d_{tТВ}$  – расстояние по оси  $Y$  от текущего положения ТВ-камеры до препятствия по направлению движения. Если тело не мешает перемещению ТВ-камеры, то эти значения принимаются равными  $d_m$  и  $d_t$  соответственно.

После этого вычисляются новые значения допустимых движений мостом и тележкой:

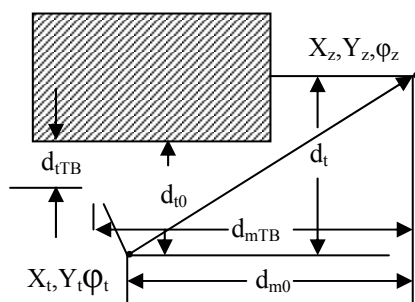
$$m_d = \min(m_d, d_{m0}, d_{mТВ}) \text{ и } t_d = \min(t_d, d_{t0}, d_{tТВ}).$$

После завершения обработки массива-картограммы те же самые вычисления производятся для границ текущей зоны, с той разницей, что в этом случае координаты размера зоны уменьшаются на  $\Delta$  и  $\Delta_{ТВ}$  для РШ и ТВ-камеры соответственно. Если это не активная зона, то расстояния до границ по направлению движения вычисляются через разность координат.

Для активной зоны (рис. 7) эти расстояния вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned} d_{m0} &= \pm(X_c - X_t) + \sqrt{R^2 - (Y_t - Y_c)^2}; \quad d_{t0} = \pm(Y_c - Y_t) + \sqrt{R^2 - (X_t - X_c)^2}; \\ d_{mТВ} &= \pm(X_c - X_{ТВ}) + \sqrt{R^2 - (Y_{ТВ} - Y_c)^2}; \\ d_{tТВ} &= \pm(Y_c - Y_{ТВ}) + \sqrt{R^2 - (X_{ТВ} - X_c)^2}; \end{aligned}$$

Здесь  $R$  – радиус активной зоны, а  $(X_c, Y_c)$  – координата центра активной зоны,  $(X_{ТВ}, Y_{ТВ})$  – координаты ТВ-камеры. Знак перед первым членом уравнения выбирается в зависимости от направления движения (минус для движения в сторону уменьшения координаты).



**Рис.7. Контроль габаритных ограничений**

Если в процессе расчётов получено  $d_{t0} < d_t$  или  $d_{m0} < d_m$ , то выходной переменной "блокировка раздельного движения - опасное расстояние РШ до препятствия" присваивается значение 1.

Если в процессе расчётов получено  $d_{tТВ} < d_t$  или  $d_{mТВ} < d_m$ , то выходной переменной "блокировка раздельного движения - опасное расстояние ТВ-камеры до препятствия" присваивается значение 1.

Данная модель рабочей зоны была применена в системе управления машиной перегрузочной для 3-го блока Калининской АЭС.