



СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ)
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА



PRO
INTEGRATION

Русановский Сергей Александрович
Худяков Михаил Павлович

Доклад

МЕТОДИКА РАЗРАБОТКИ СПЕЦИАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ МЕХАНИ- ЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Северодвинск 2021



Актуальность

Необходимость снижения влияния человеческого фактора на качество и производительность изготовления ответственных конструкций.

Проблема

Невозможность в рамках действующей технологии реализовать программно управляемую обработку на стапеле разделок крупногабаритных отверстий в корпусных конструкциях под вварку насыщения.

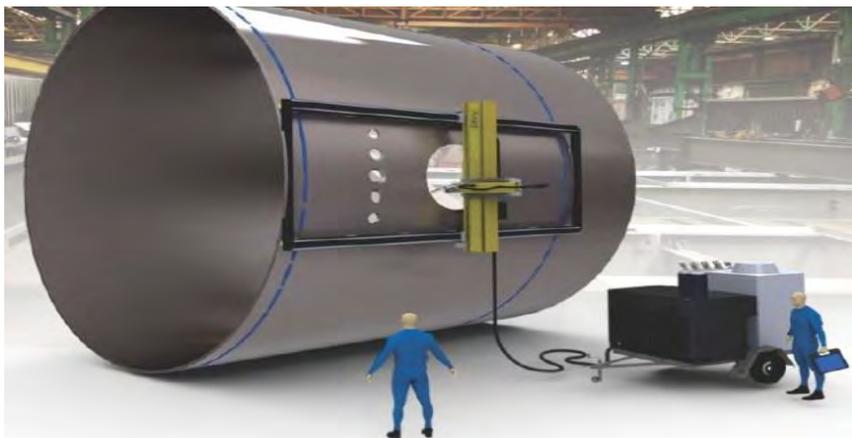
Цель

Создание методических основ формализованного описания элементов технологических комплексов, обеспечивающих их комплексное проектирование в контексте «цифрового» производства.

Задачи

- Определить принципиальную структуру методики
- Определить математический аппарат для реализации методики
- Показать пример применения методики
- Экспериментально апробировать применимости методики

Специализированные

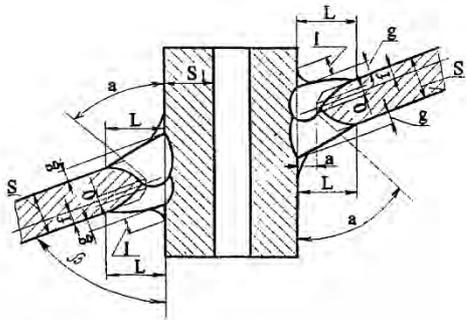


Универсальные

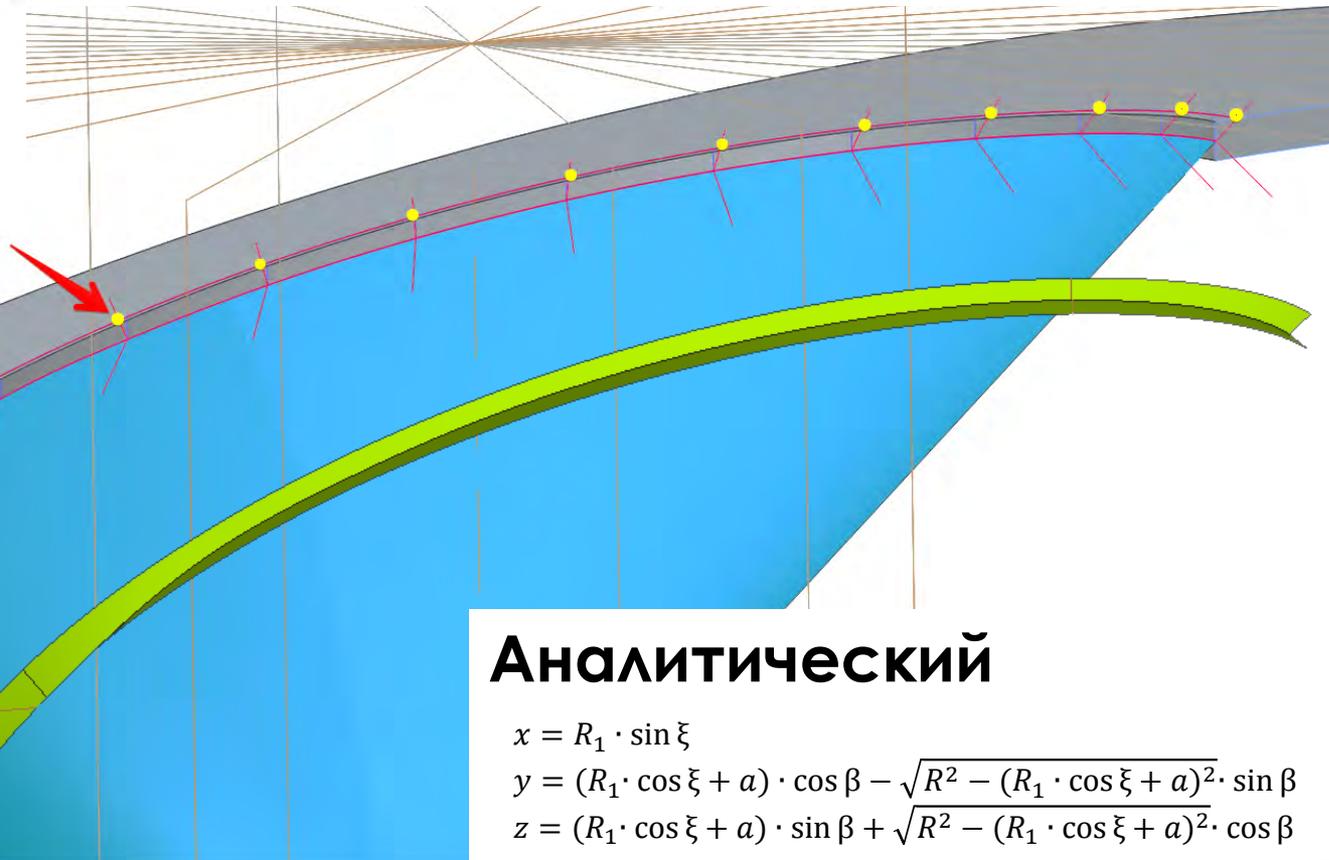


ОЗІ СПОСОБИ ЗАДАНИЯ ГЕОМЕТРИИ РАЗДЕЛКИ

Действующий



Точки кернения



Аналитический

$$x = R_1 \cdot \sin \xi$$

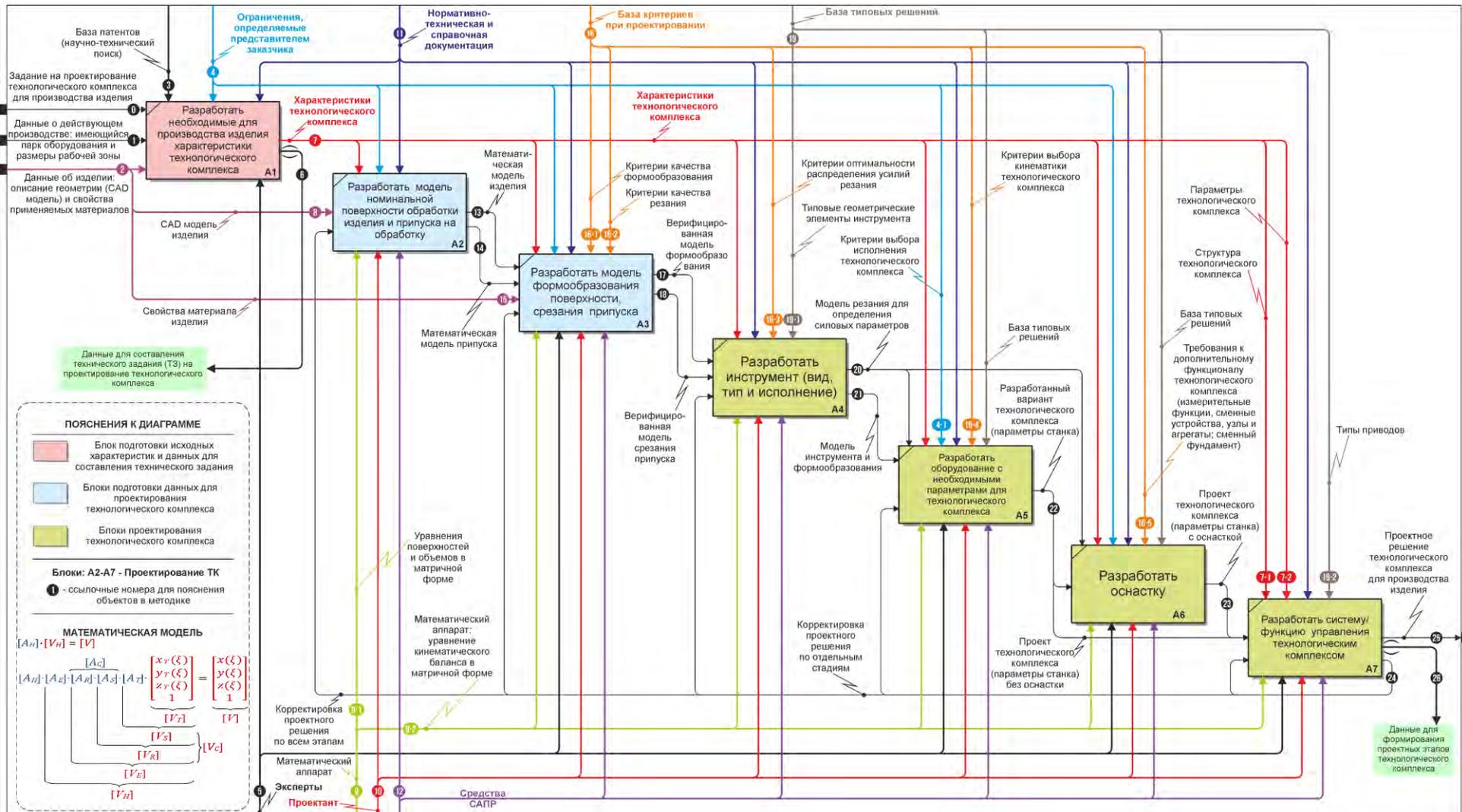
$$y = (R_1 \cdot \cos \xi + a) \cdot \cos \beta - \sqrt{R^2 - (R_1 \cdot \cos \xi + a)^2} \cdot \sin \beta$$

$$z = (R_1 \cdot \cos \xi + a) \cdot \sin \beta + \sqrt{R^2 - (R_1 \cdot \cos \xi + a)^2} \cdot \cos \beta$$

041 МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ



СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ)
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА



051 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА

Общая структура математической модели аналогична структуре функциональной модели

$[A_T]$ – матрица преобразований характерных точек из системы координат инструмента (производящей инструментальной поверхности) в систему координат обрабатываемой поверхности;

$[A_S]$ – матрица преобразований характерных точек из системы координат инструментальной оснастки в систему координат инструмента;

$[A_R]$ – матрица параллельно связанных преобразований характерных точек из системы координат оборудования в систему координат инструментальной оснастки;

$[A_E]$ – матрица преобразований характерных точек из системы координат установочной оснастки в систему координат оборудования;

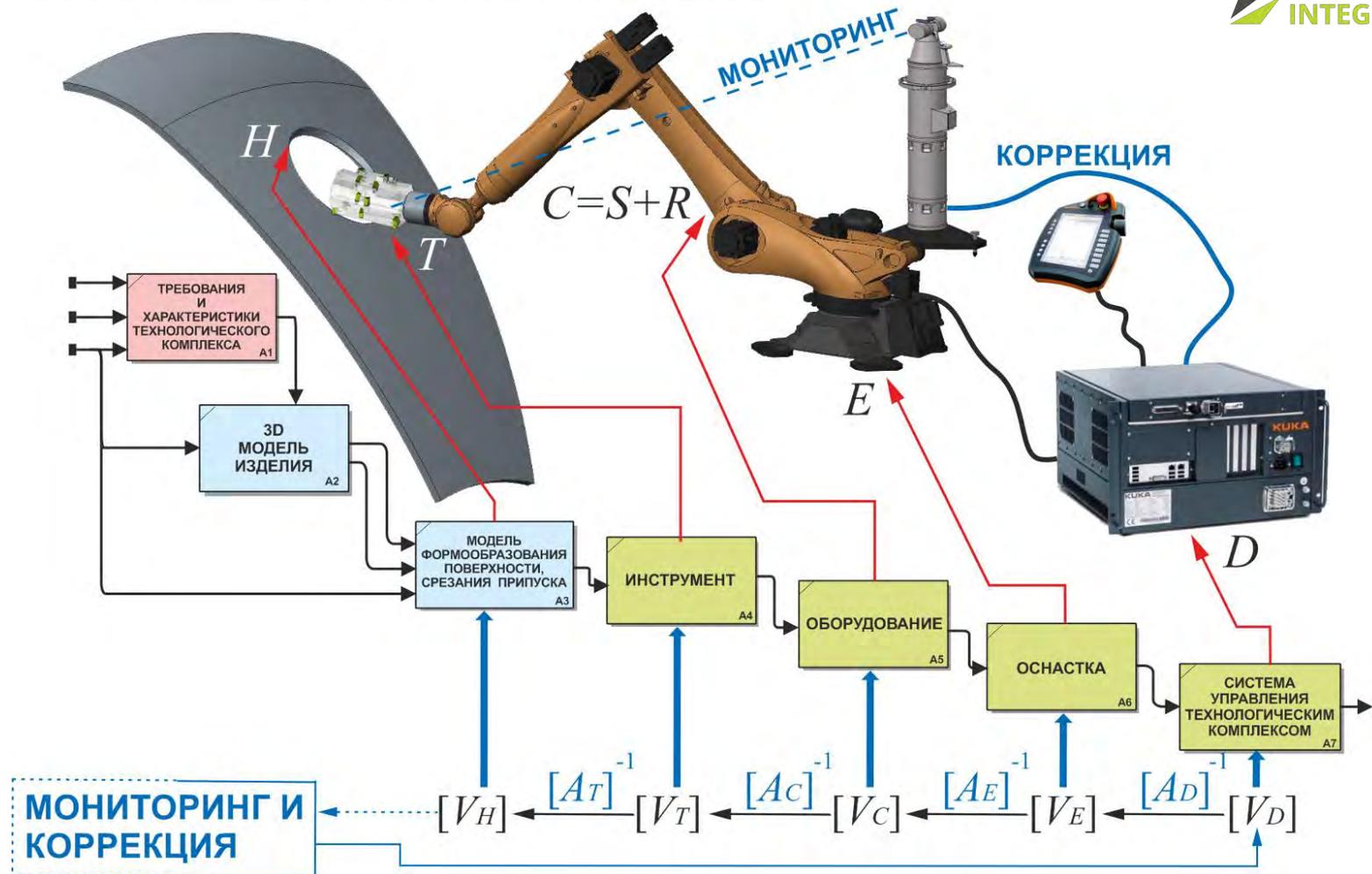
$[A_H]$ – матрица преобразований характерных точек из системы координат изделия (обрабатываемого корпуса) в систему координат оборудования.

$$[A_H] \cdot [A_E] \cdot [A_R] \cdot [A_S] \cdot [A_T] \cdot \begin{bmatrix} x_T(\xi) \\ y_T(\xi) \\ z_T(\xi) \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(\xi) \\ y(\xi) \\ z(\xi) \\ 1 \end{bmatrix}$$

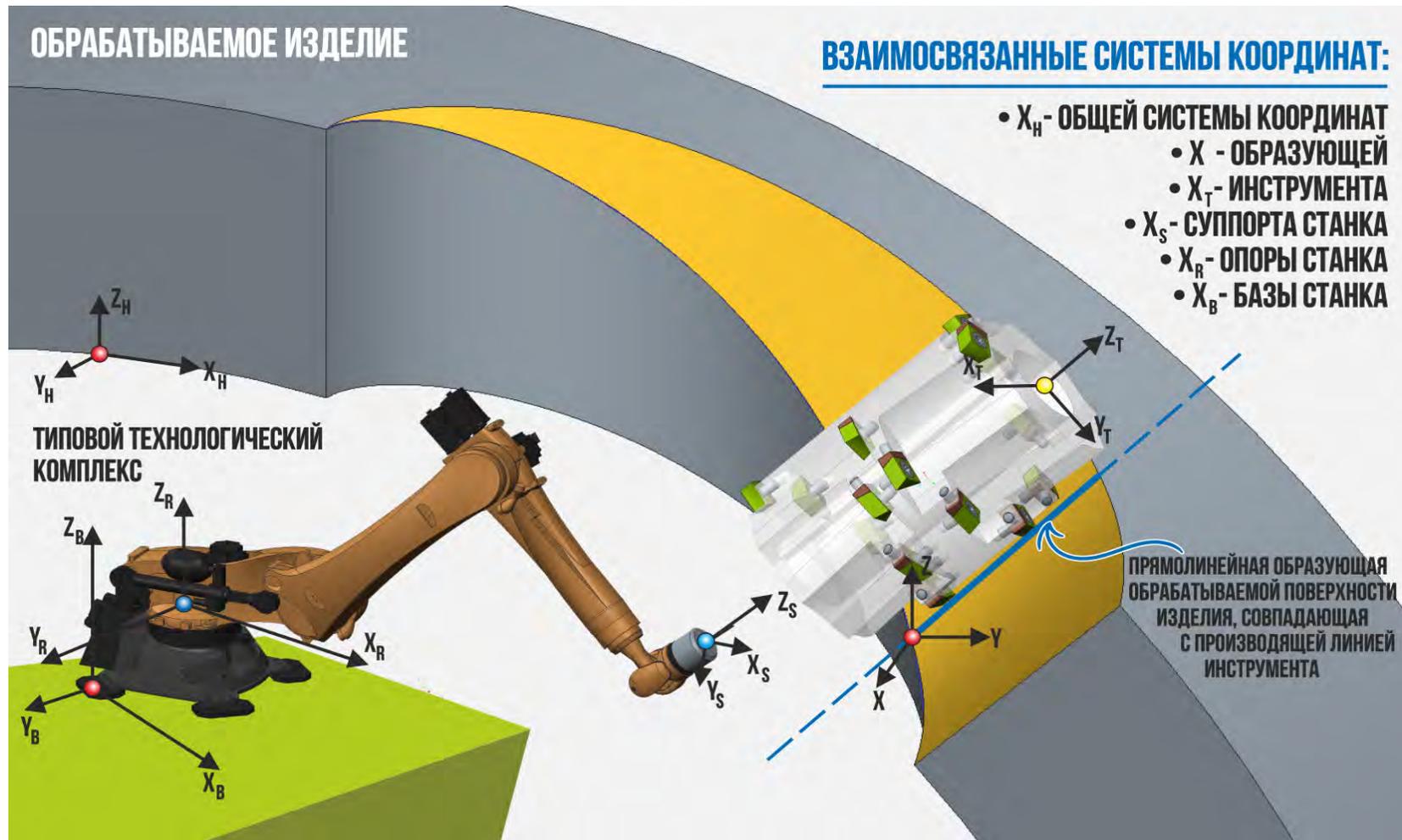
The diagram illustrates the transformation chain with the following groupings:

- $[V_T]$ is associated with the tool coordinate vector $\begin{bmatrix} x_T(\xi) \\ y_T(\xi) \\ z_T(\xi) \\ 1 \end{bmatrix}$.
- $[V_C]$ is associated with the matrices $[A_S]$, $[A_R]$, and $[A_E]$.
- $[V_H]$ is associated with the matrices $[A_H]$, $[A_E]$, $[A_R]$, $[A_S]$, and $[A_T]$.

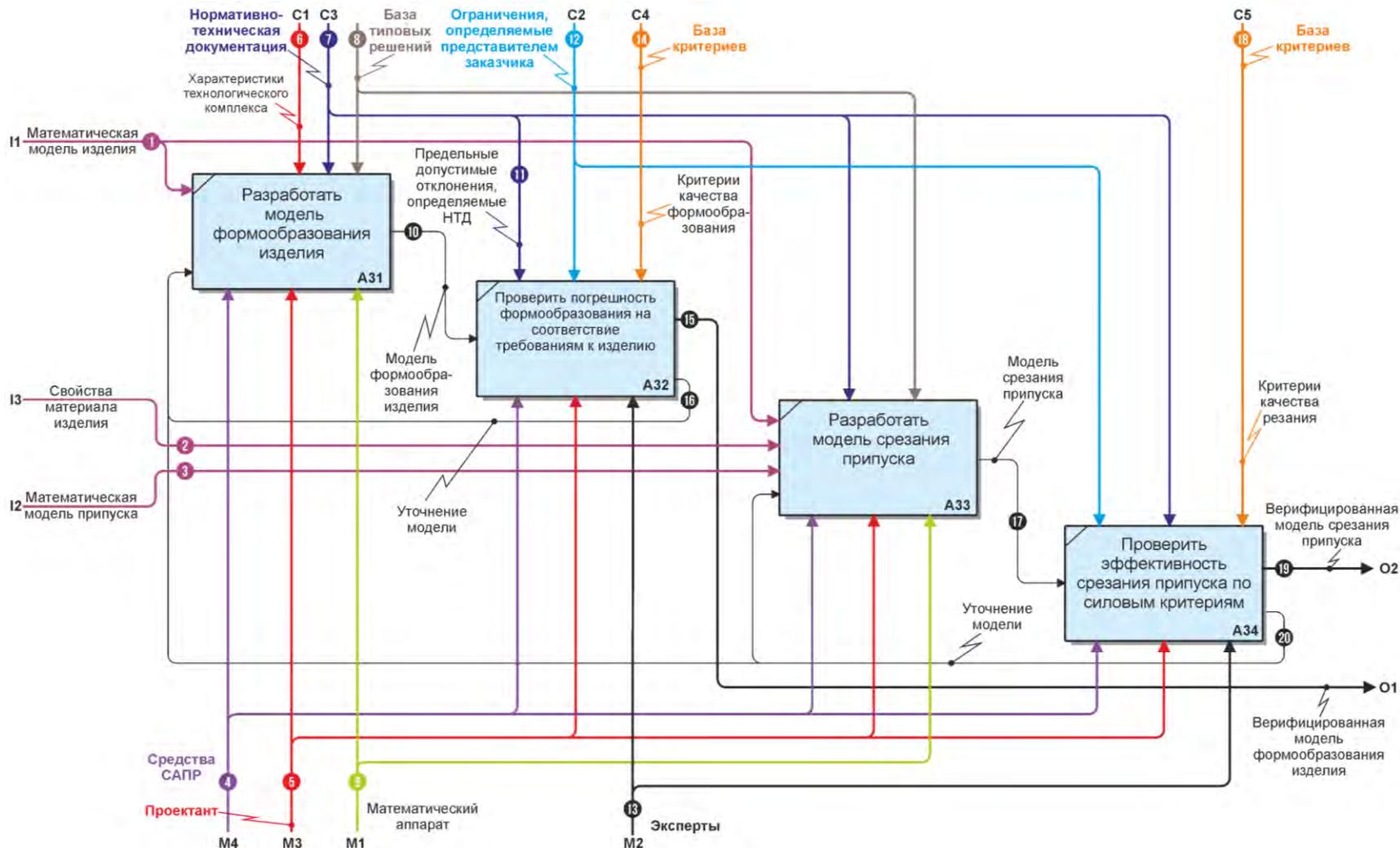
061 УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МОБИЛЬНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС



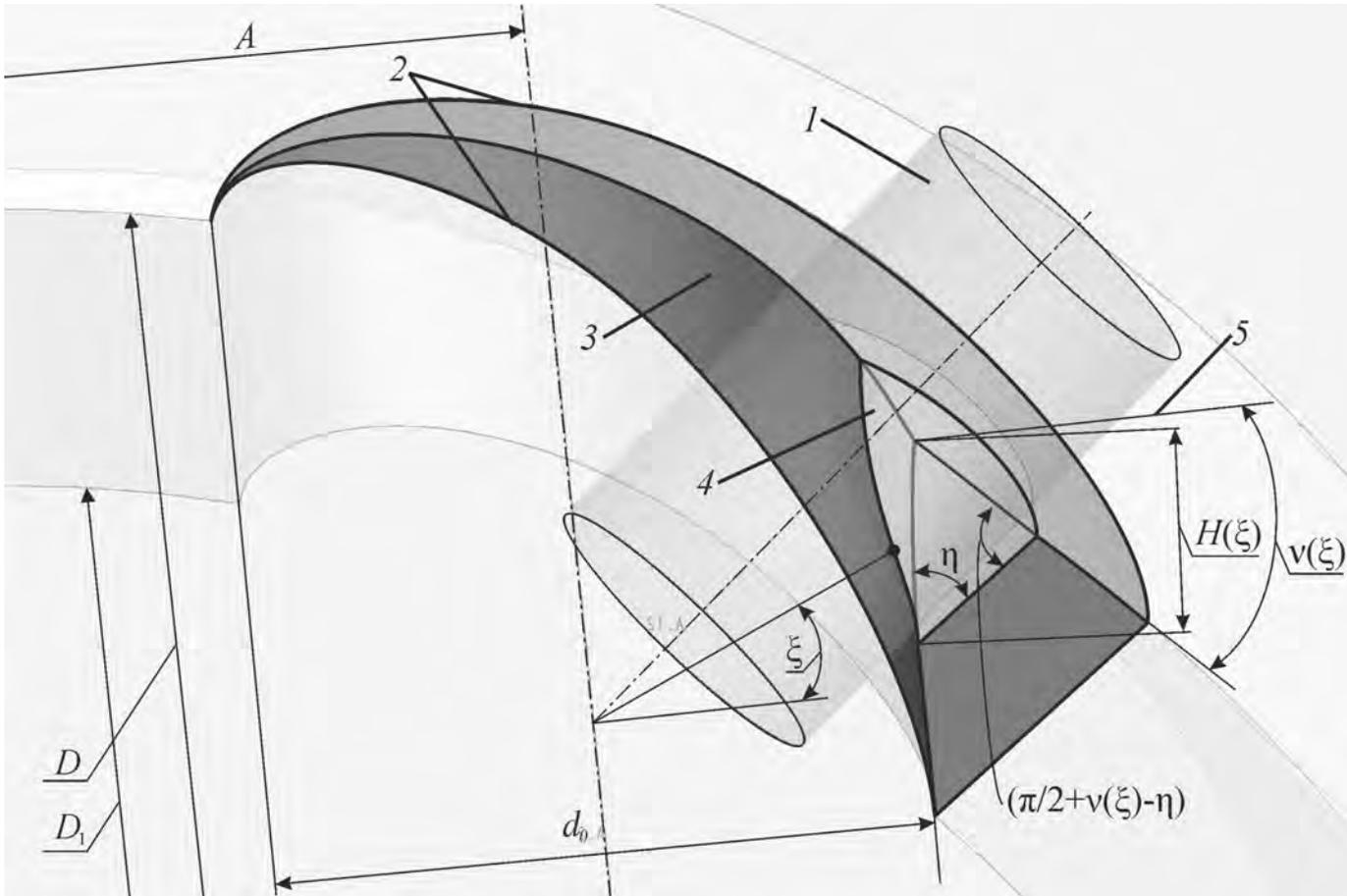
071 КОМПОНЕНТЫ МТК С КООРДИНАТНОЙ ПРИВЯЗКОЙ



08 | ДЕКОМПОЗИЦИЯ МОДЕЛИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И СРЕЗАНИЯ ПРИПУСКА (БЛОК АЗ)



091 МОДЕЛЬ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ РАЗДЕЛКИ

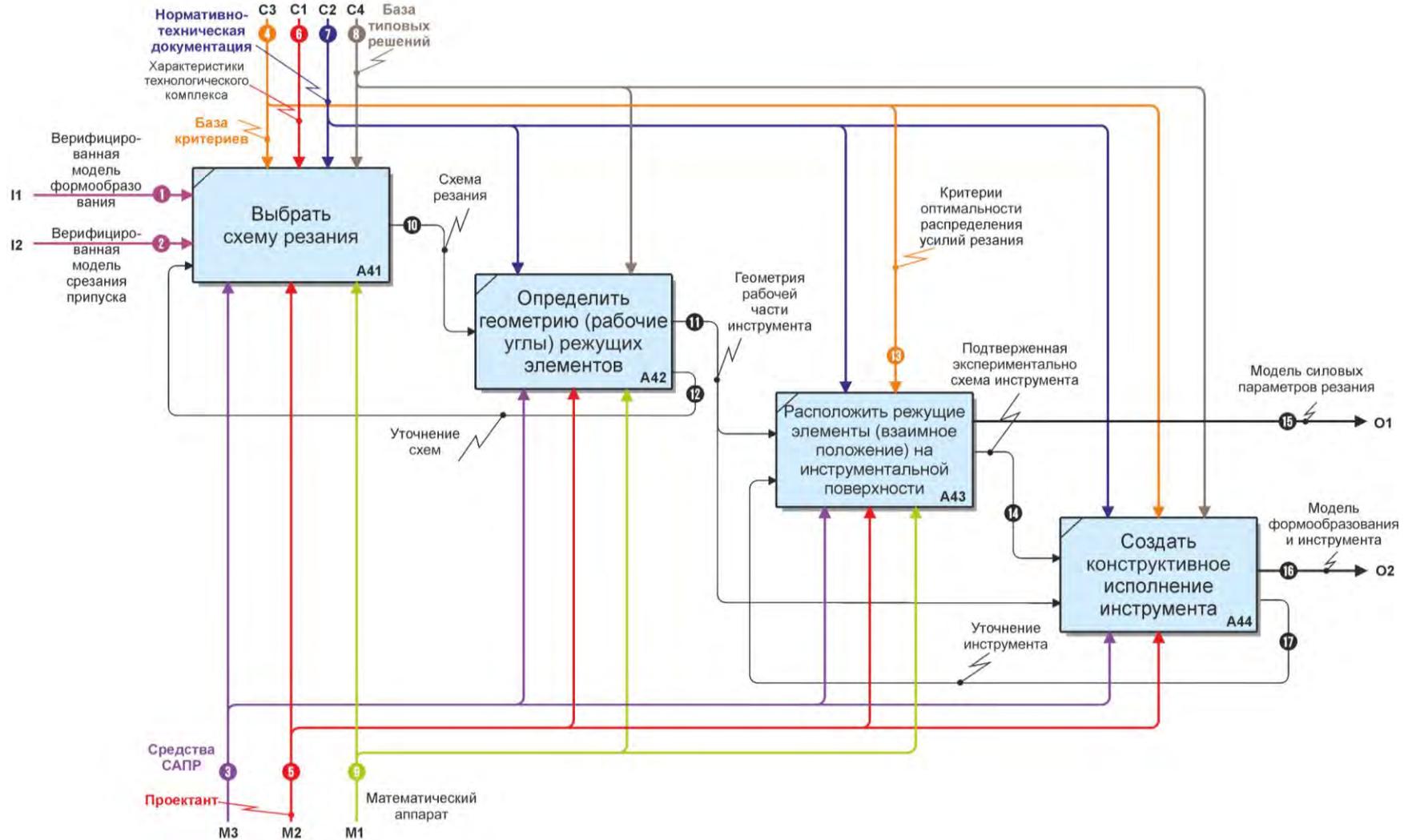


$$V_H(\xi) = \Pi \cdot \left[\begin{array}{c} x_0 + \frac{d_0}{2} \sin \xi \\ A + \frac{d_0}{2} \cos \xi \\ \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(A + \frac{d_0}{2} \cos \xi\right)^2} \\ 1 \end{array} \right]$$

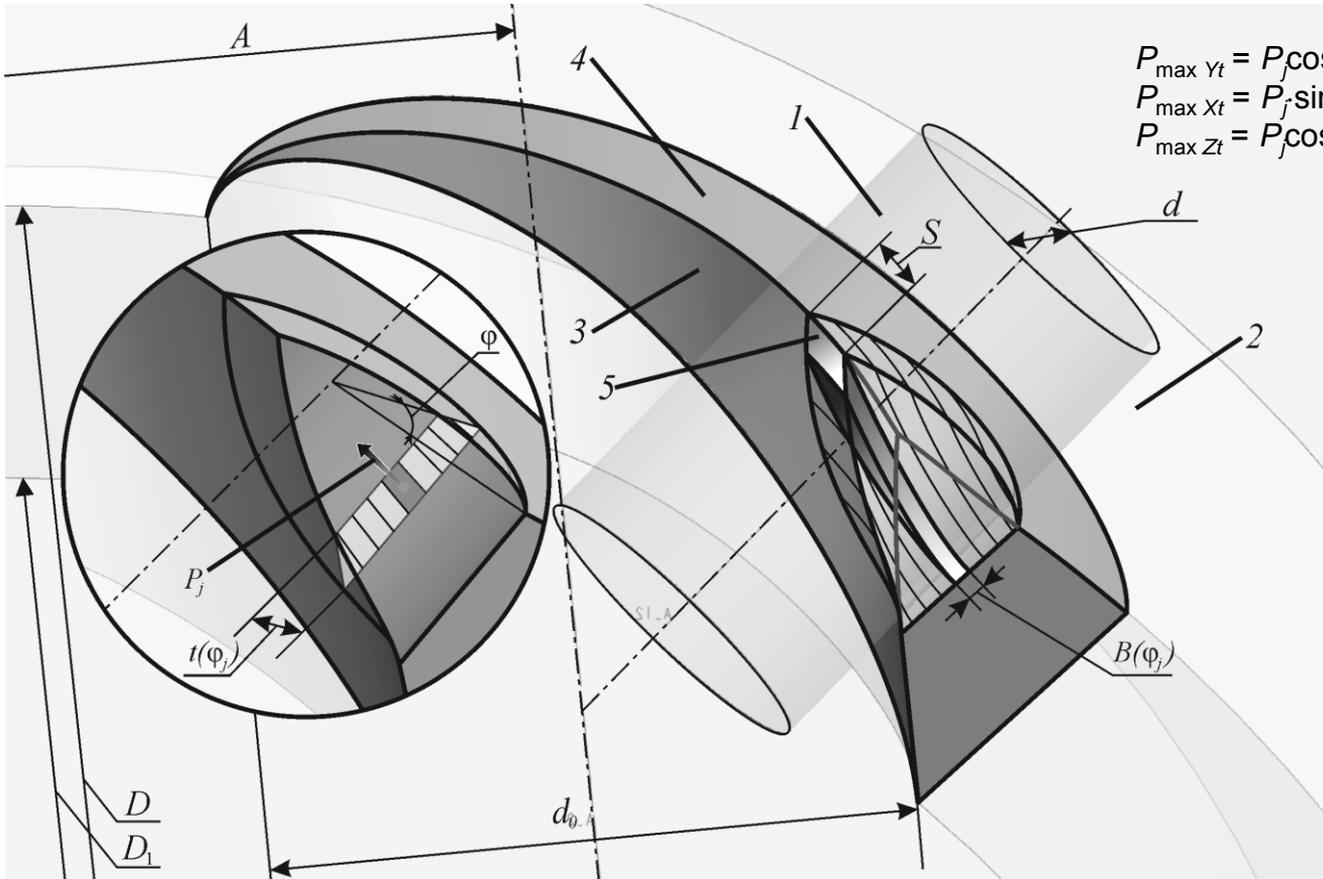
$$F(\xi) = \frac{H^2(\xi) \sin\left(\frac{\pi}{2} - v(\xi)\right) \sin \eta}{2 \sin\left(\frac{\pi}{2} + v(\xi) - \eta\right)}$$

$$P(\xi, \eta) = \left[\begin{array}{c} P(\xi) \cos \eta \sin \xi \\ P(\xi) \cos \eta \\ P(\xi) \sin \eta \\ 0 \end{array} \right]$$

10| ДЕКОМПОЗИЦИЯ МОДЕЛИ ИНСТРУМЕНТА (БЛОК А4)



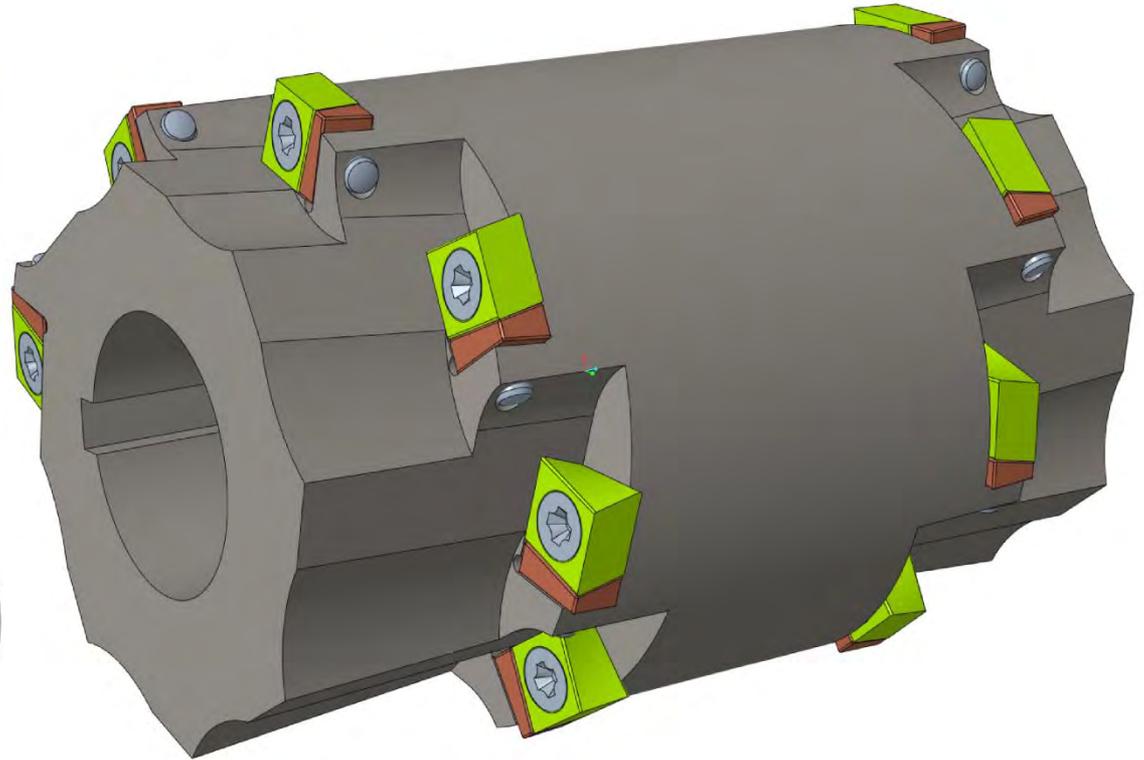
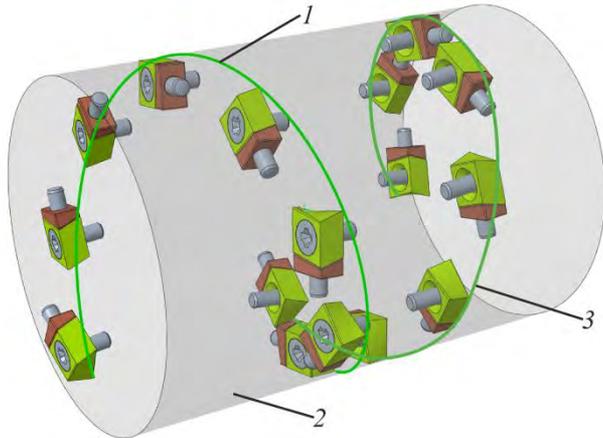
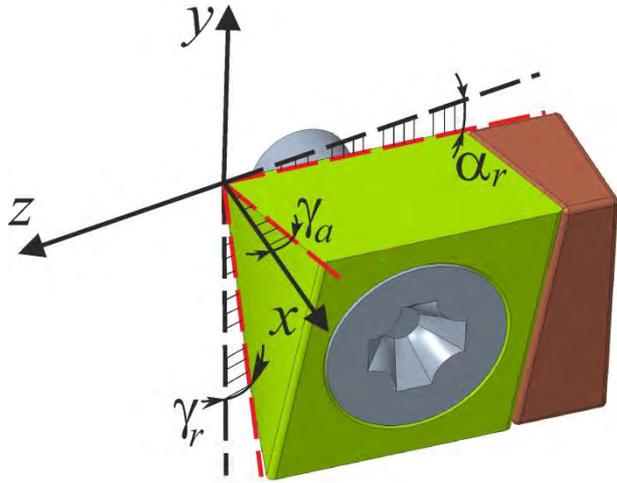
11I СХЕМА И ПАРАМЕТРЫ РЕЗАНИЯ (БЛОК А41)

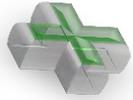


$$\begin{aligned}
 P_{\max Yt} &= P_j \cos \varphi_{\max j} = P_j [1 - (2jBt\eta)/d]; \\
 P_{\max Xt} &= P_j \sin \varphi_{\max j} = C_{P0} B^q S^x (\sin \varphi_{\max j})^{x+1} \gamma^u r^w a^w; \\
 P_{\max Zt} &= P_j \cos \varphi_{\max j} \operatorname{tg} \gamma_a = P_j \operatorname{tg} \gamma_a [1 - (2jBt\eta)/d].
 \end{aligned}$$

$$P(\varphi_j, \xi, \eta) = \begin{bmatrix} P_j \cos \varphi_j \sin \xi \cos \eta \\ P_j \sin \varphi_j \cos \eta \\ P_j \cos \varphi_j \operatorname{tg} \gamma_a \sin \eta \\ 0 \end{bmatrix}$$

12I СПРОЕКТИРОВАННЫЙ ИНСТРУМЕНТ



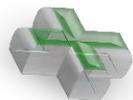


Результаты

- + Определено аналитическое описание разделки в унифицированном виде (однородных координатах)
- + Разработана функциональная модель процесса проектирования НТК в нотации IDEF0.
- + Разработана обобщенная математическая модель, связывающая объект производства и элементы НТК для его обработки.
- + Выполнена экспериментальная апробация методики на базе универсального роботизированного комплекса механической обработки, оснащенного системой мониторинга и управления ООО «ПроИнтеграция» (г. Санкт-Петербург)
- + На основе методики спроектирован специальный инструмент, адаптированный к особенностям процесса обработки рассмотренных разделок.

Перспективы

- + Созданы методические предпосылки для цифровизации на основе аналитических моделей процесса проектирования средств технологического оснащения корпусообрабатывающего производства.
- + Разработанные модели укладываются в общую методику проектирования как универсальных, так и специализированных, в том числе нестационарных (мобильных) технологических комплексов.
- + Дальнейшая интеграция с системами мониторинга и управления для обеспечения прослеживаемости и управляемости процессов механической обработки корпусных конструкций.



Результаты

- + Определено аналитическое описание разделки в унифицированном виде (однородных координатах)
- + Разработана функциональная модель процесса проектирования НТК в нотации IDEF0.
- + Разработана обобщенная математическая модель, связывающая объект производства и элементы НТК для его обработки.
- + Выполнена экспериментальная апробация методики на базе универсального роботизированного комплекса механической обработки, оснащенного системой мониторинга и управления ООО «ПроИнтеграция» (г. Санкт-Петербург).
- + На основе методики спроектирован специальный инструмент, адаптированный к особенностям процесса обработки рассмотренных разделок.

Перспективы

- + Созданы методические предпосылки для цифровизации на основе аналитических моделей процесса проектирования средств технологического оснащения корпусообрабатывающего производства.
- + Разработанные модели укладываются в общую методику проектирования как универсальных, так и специализированных, в том числе нестационарных (мобильных) технологических комплексов.
- + Дальнейшая интеграция с системами мониторинга и управления для обеспечения прослеживаемости и управляемости процессов механической обработки корпусных конструкций.

Спасибо за внимание!