



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



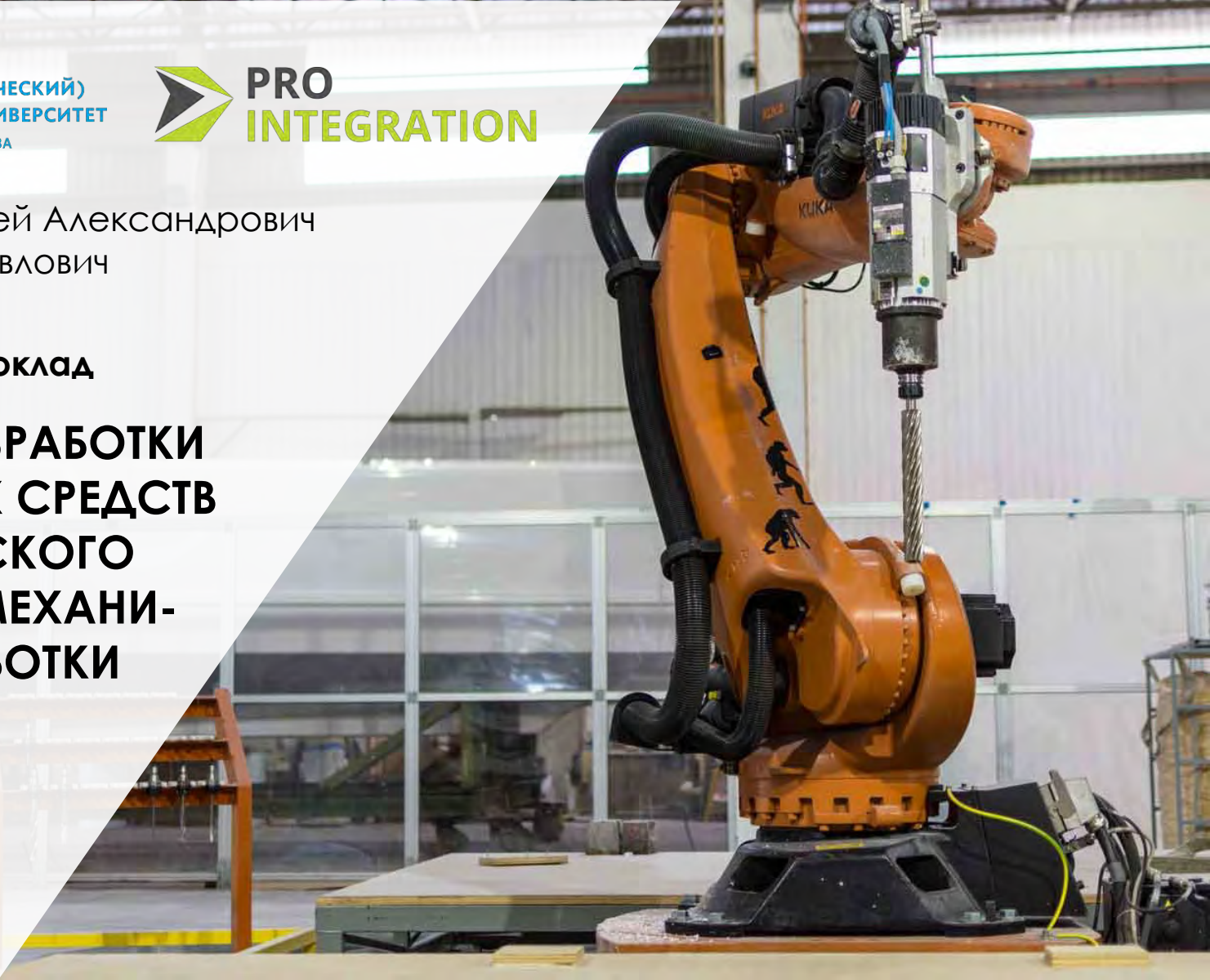
PRO  
INTEGRATION

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.

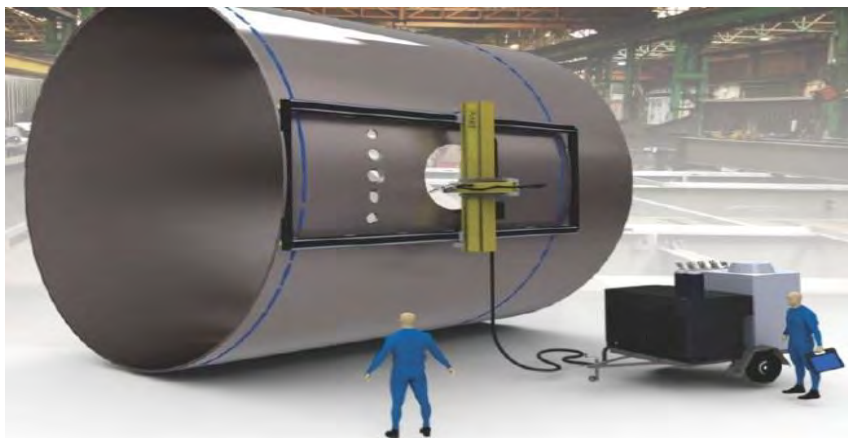
## **Цель**

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



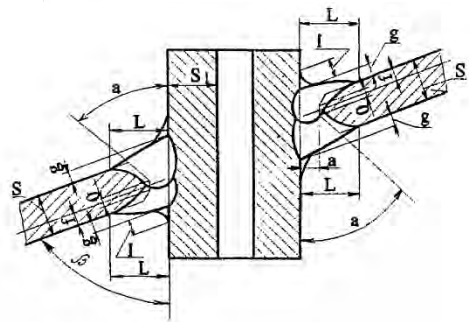
## Универсальные





# ОЗІ СПОСОБИ ЗАДАНИЯ ГЕОМЕТРИИ РАЗДЕЛКИ

## Действующий



Точки кернения



Отсеченное состояние: XSEC0001

## Аналитический

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

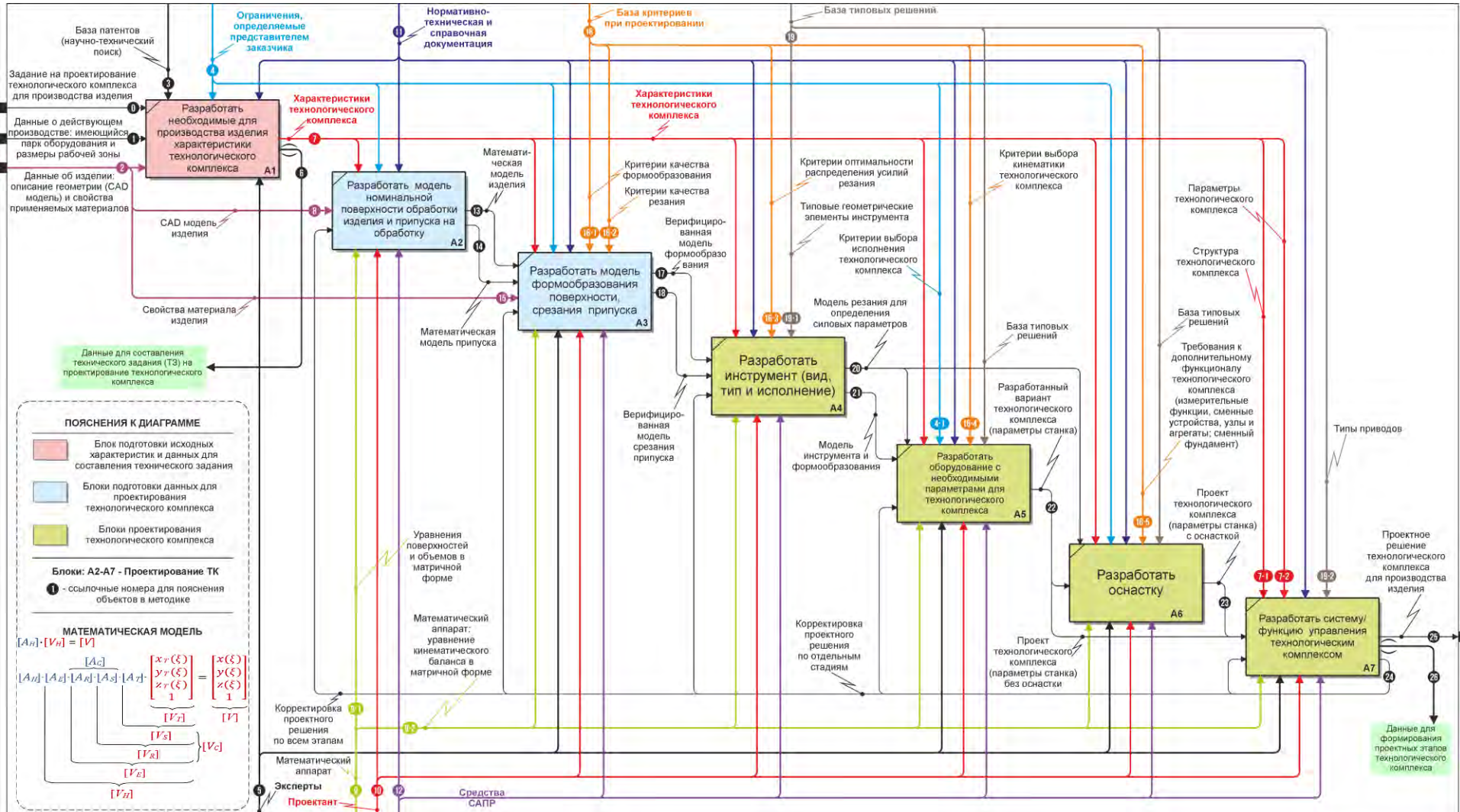
$$y = (R_1 \cdot \cos \xi + a) \cdot \cos \beta - \sqrt{R^2 - (R_1 \cdot \cos \xi + a)^2} \cdot \sin \beta$$

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

# 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.

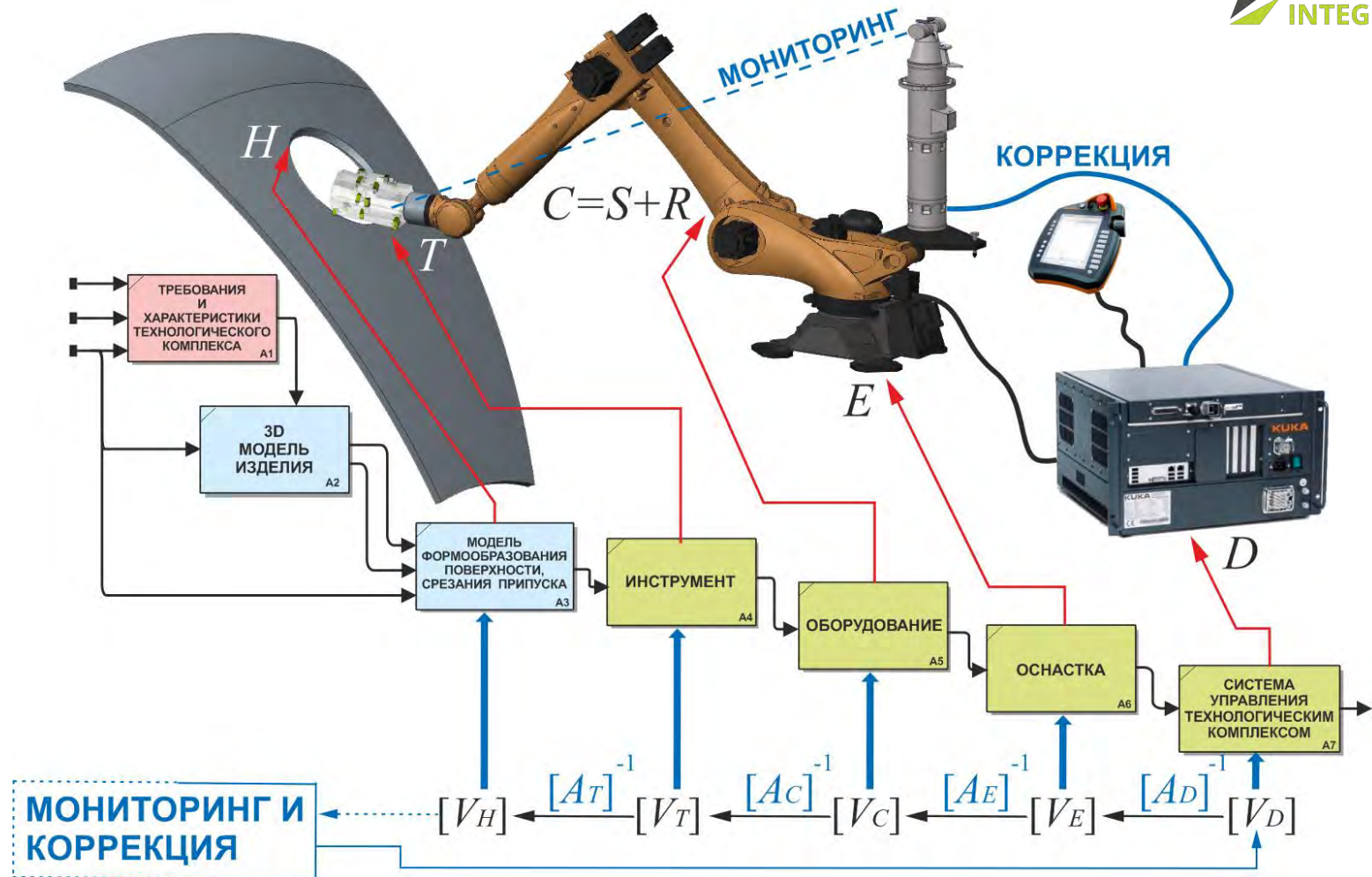
$$[A_H] \cdot [A_E] \cdot [A_R] \cdot [A_S] \cdot [A_T] \cdot \begin{bmatrix} x_T(\xi) \\ y_T(\xi) \\ z_T(\xi) \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x(\xi) \\ y(\xi) \\ z(\xi) \\ 1 \end{bmatrix}$$

The diagram illustrates the transformation chain with the following groupings:

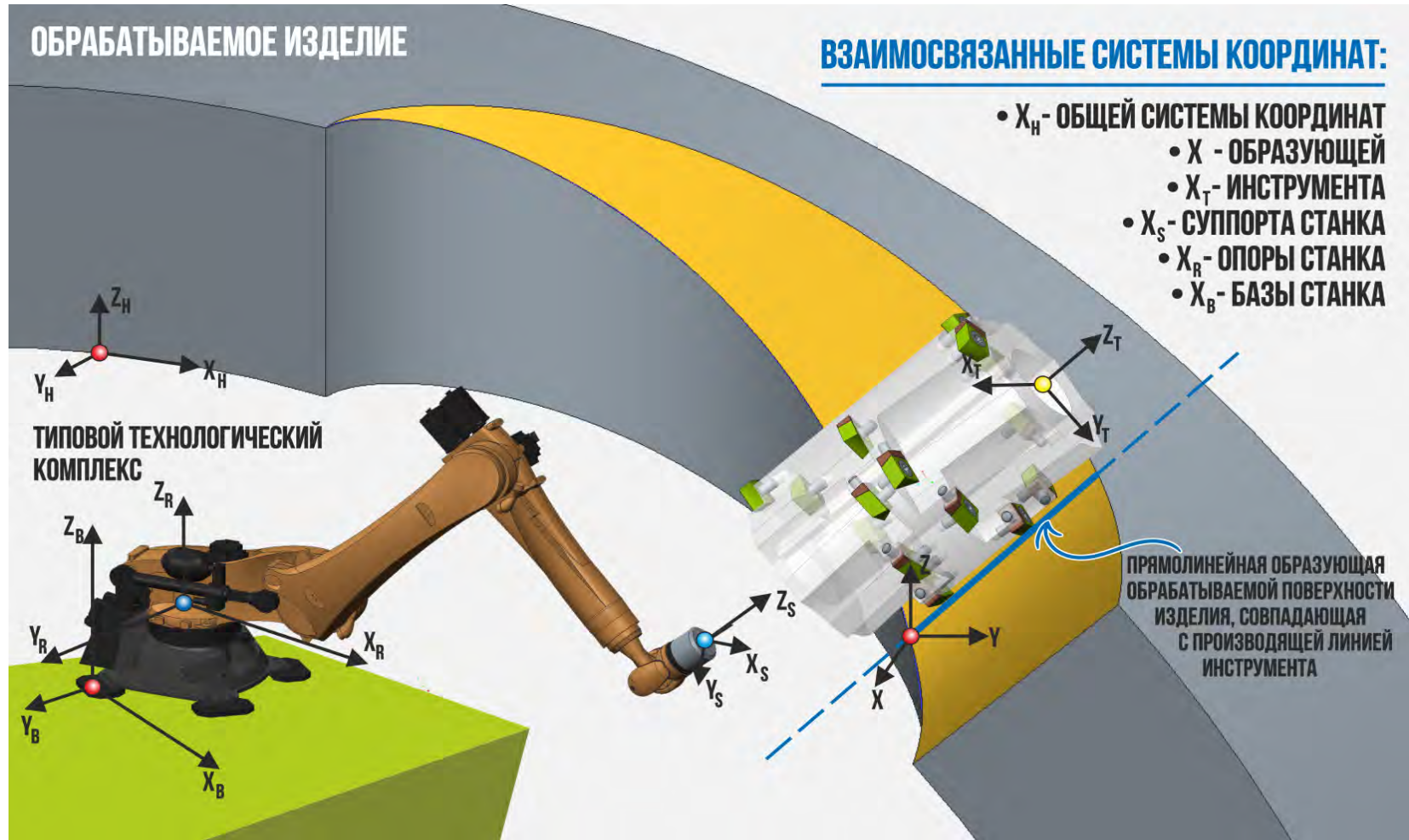
- $[V_T]$  is a bracket under the vector  $\begin{bmatrix} x_T(\xi) \\ y_T(\xi) \\ z_T(\xi) \\ 1 \end{bmatrix}$ .
- $[V_C]$  is a bracket encompassing the matrices  $[A_S]$ ,  $[A_R]$ , and  $[A_E]$ .
- $[V_H]$  is a bracket encompassing the matrices  $[A_H]$ ,  $[A_E]$ ,  $[A_R]$ ,  $[A_S]$ , and  $[A_T]$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



# ОБЪЕКТНО-УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МОБИЛЬНЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

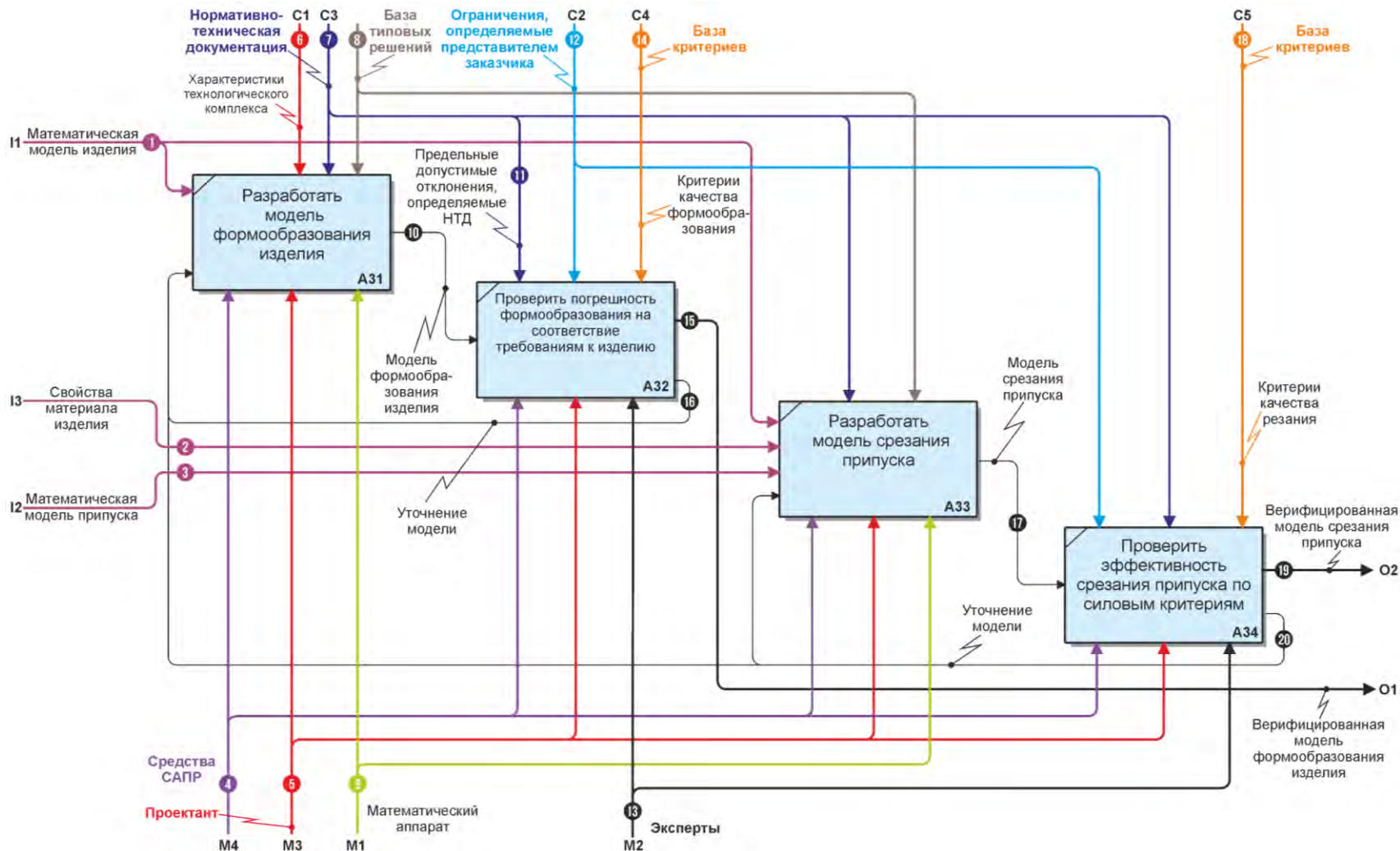


# 071 КОМПОНЕНТЫ МТК С КООРДИНАТНОЙ ПРИВЯЗКОЙ

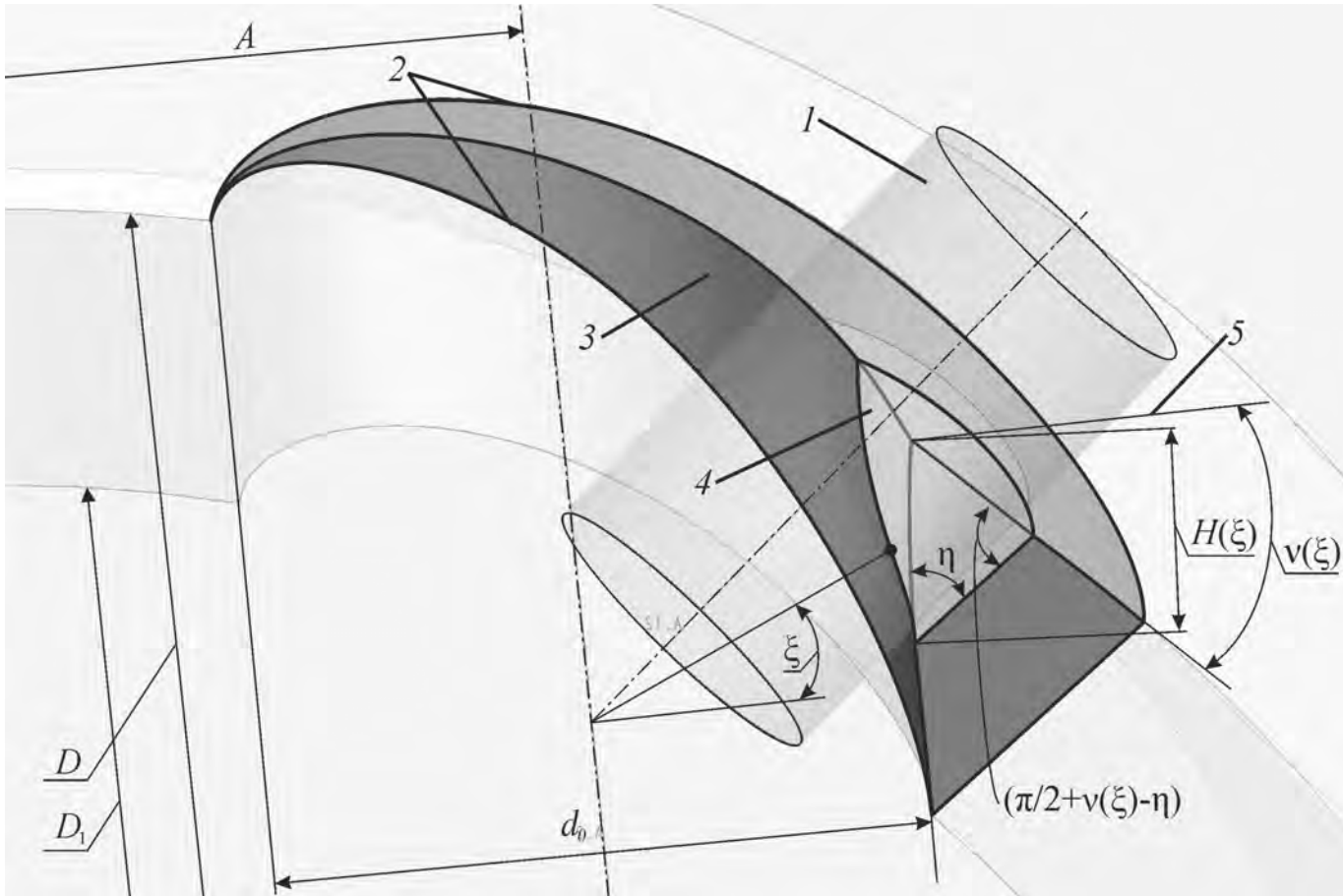




# 08 | ДЕКОМПОЗИЦИЯ МОДЕЛИ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ И СРЕЗАНИЯ ПРИПУСКА (БЛОК АЗ)



# 091 МОДЕЛЬ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ РАЗДЕЛКИ

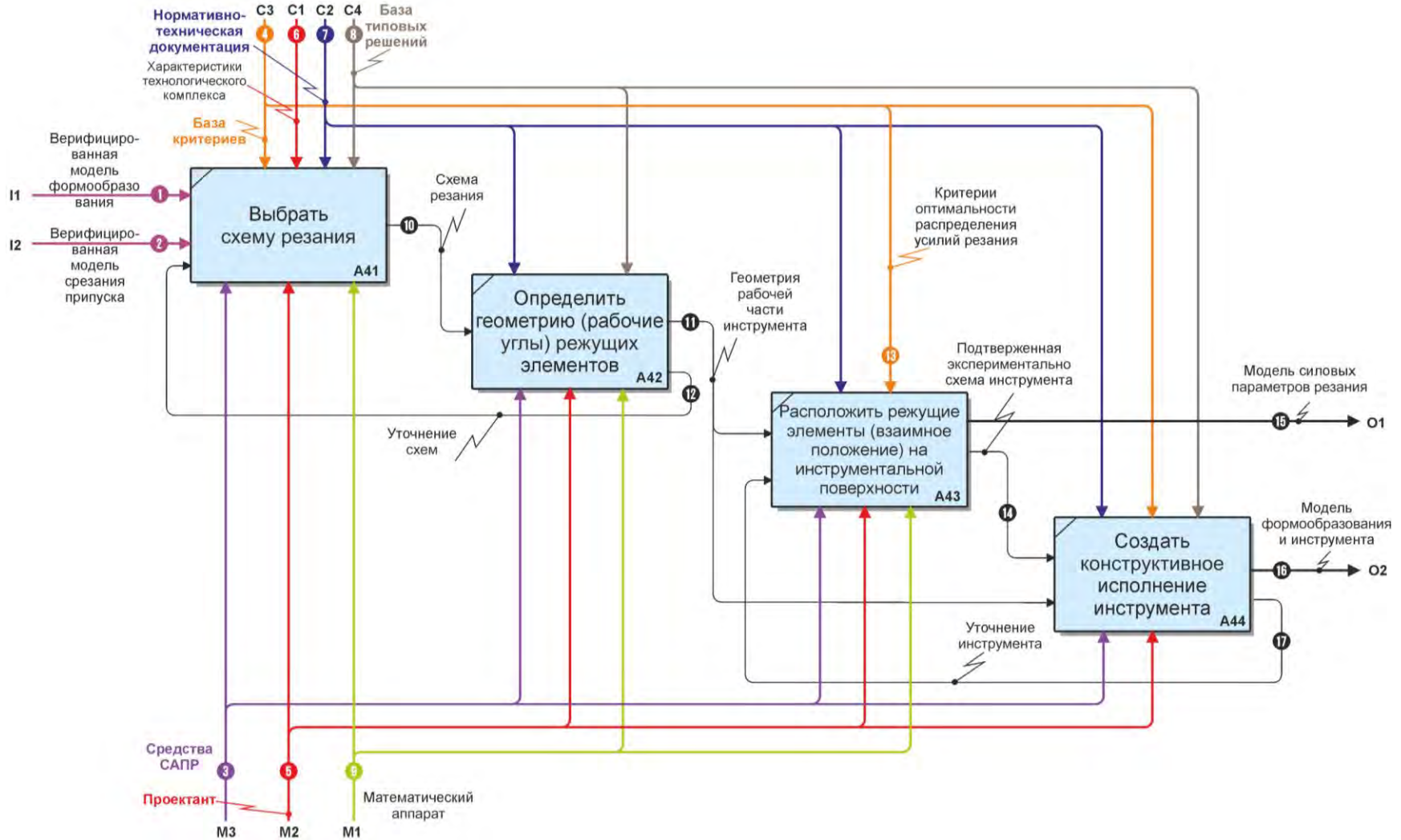


$$V_H(\xi) = \Pi \cdot \left[ \begin{array}{c} x_0 + \frac{d_0}{2} \sin \xi \\ A + \frac{d_0}{2} \cos \xi \\ \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(A + \frac{d_0}{2} \cos \xi\right)^2} \\ 1 \end{array} \right]$$

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

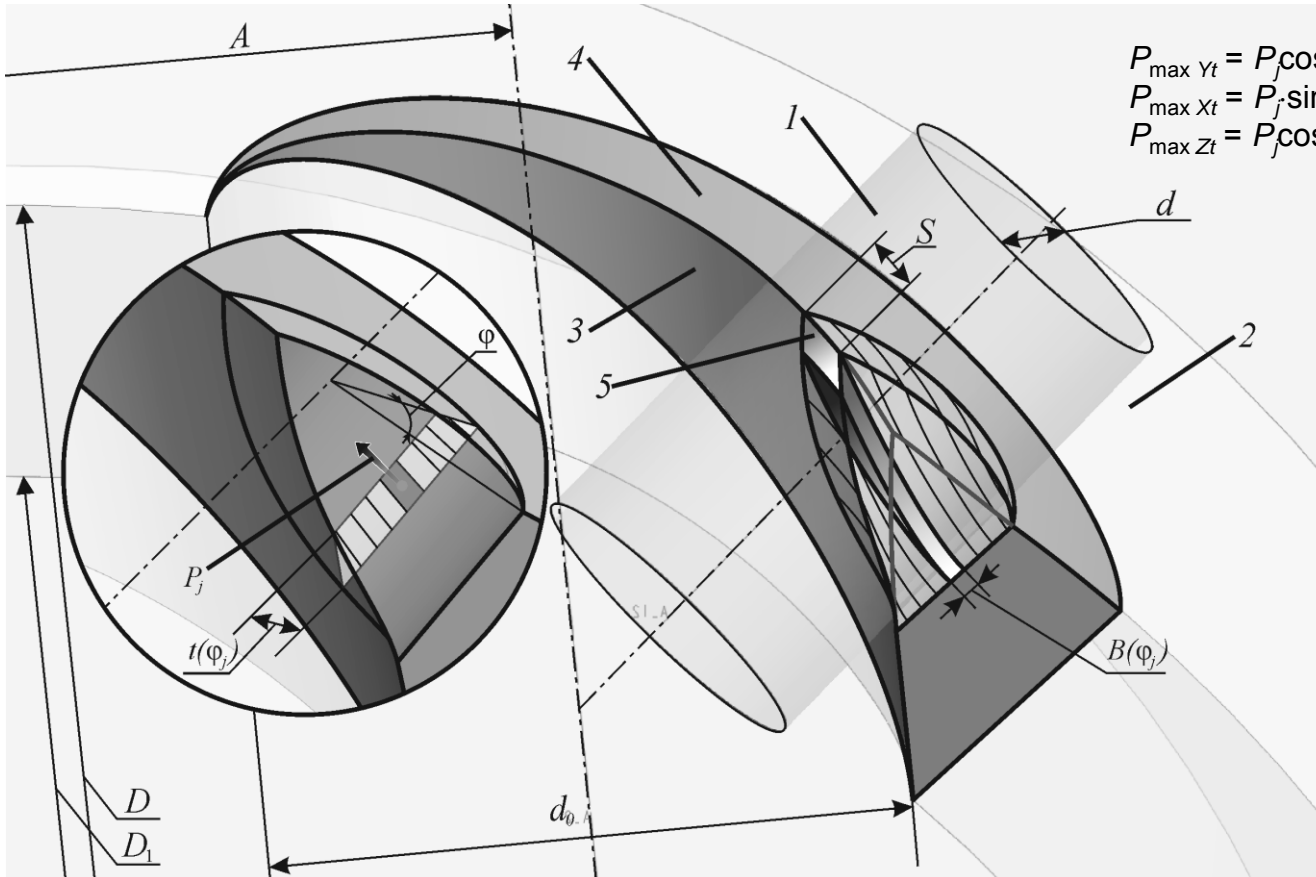
$$P(\xi, \eta) = \left[ \begin{array}{c} P(\xi) \cos \eta \sin \xi \\ P(\xi) \cos \eta \\ P(\xi) \sin \eta \\ 0 \end{array} \right]$$

# 10 | ДЕКОМПОЗИЦИЯ МОДЕЛИ ИНСТРУМЕНТА (БЛОК А4)





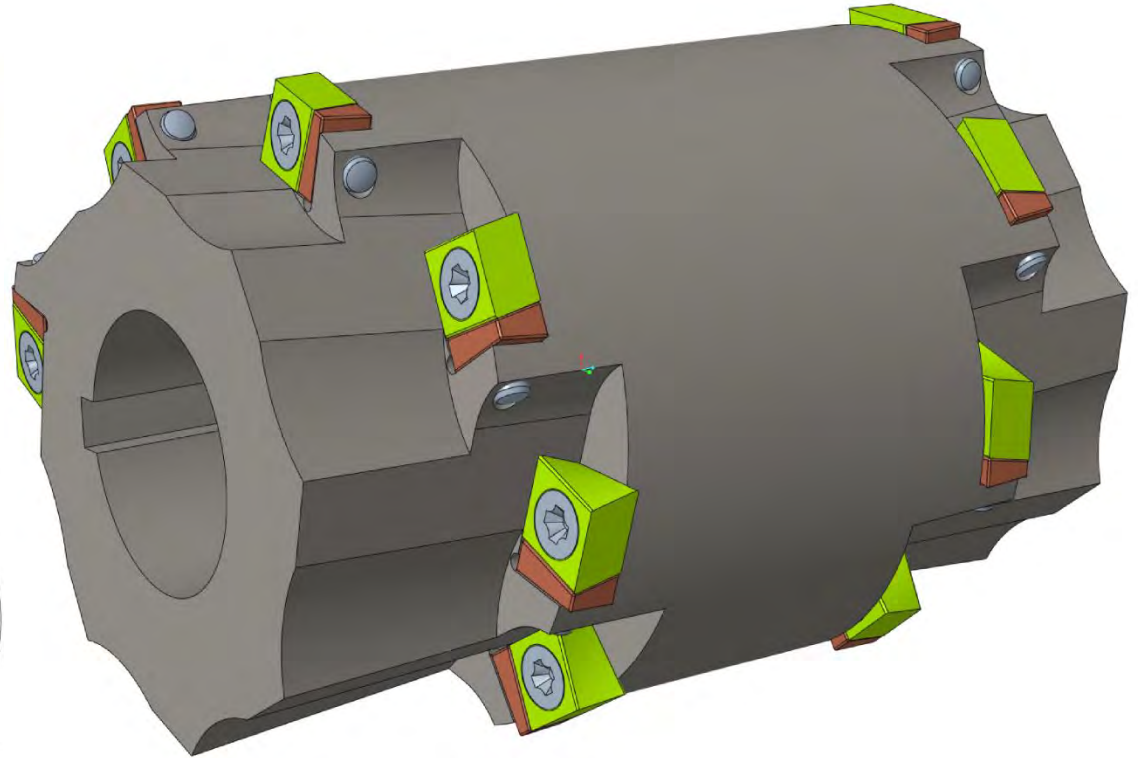
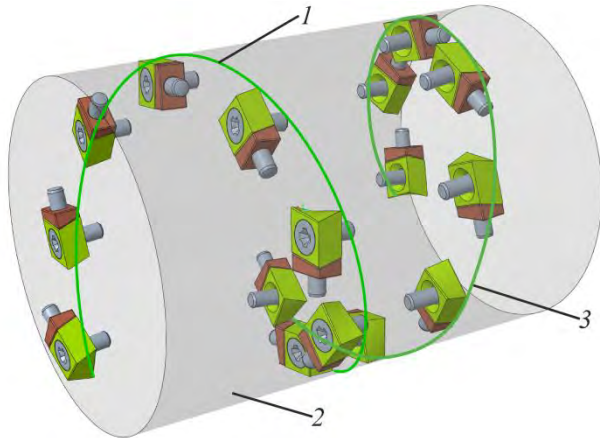
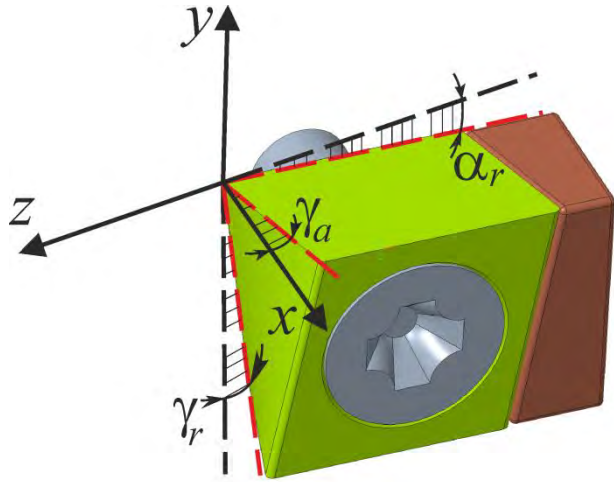
# 11I СХЕМА И ПАРАМЕТРЫ РЕЗАНИЯ (БЛОК А41)

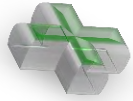


$$\begin{aligned}
 P_{\max Yt} &= P_j \cos \varphi_{\max j} = P_j [1 - (2jBt\eta)/d]; \\
 P_{\max Xt} &= P_j \sin \varphi_{\max j} = C_{P0} B^q S^x (\sin \varphi_{\max j})^{x+1} \gamma^u r^w a^w; \\
 P_{\max Zt} &= P_j \cos \varphi_{\max j} \operatorname{tg} \gamma_a = P_j \operatorname{tg} \gamma_a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

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

# 12I СПРОЕКТИРОВАННЫЙ ИНСТРУМЕНТ





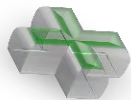
## Результаты

- + 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!**