



NEVA TECHNOLOGY

Так – точно!

# Комплексный подход к внедрению высокоточных 3D-измерительных технологий на современном производстве

докладчик:

Руководитель направления судостроения

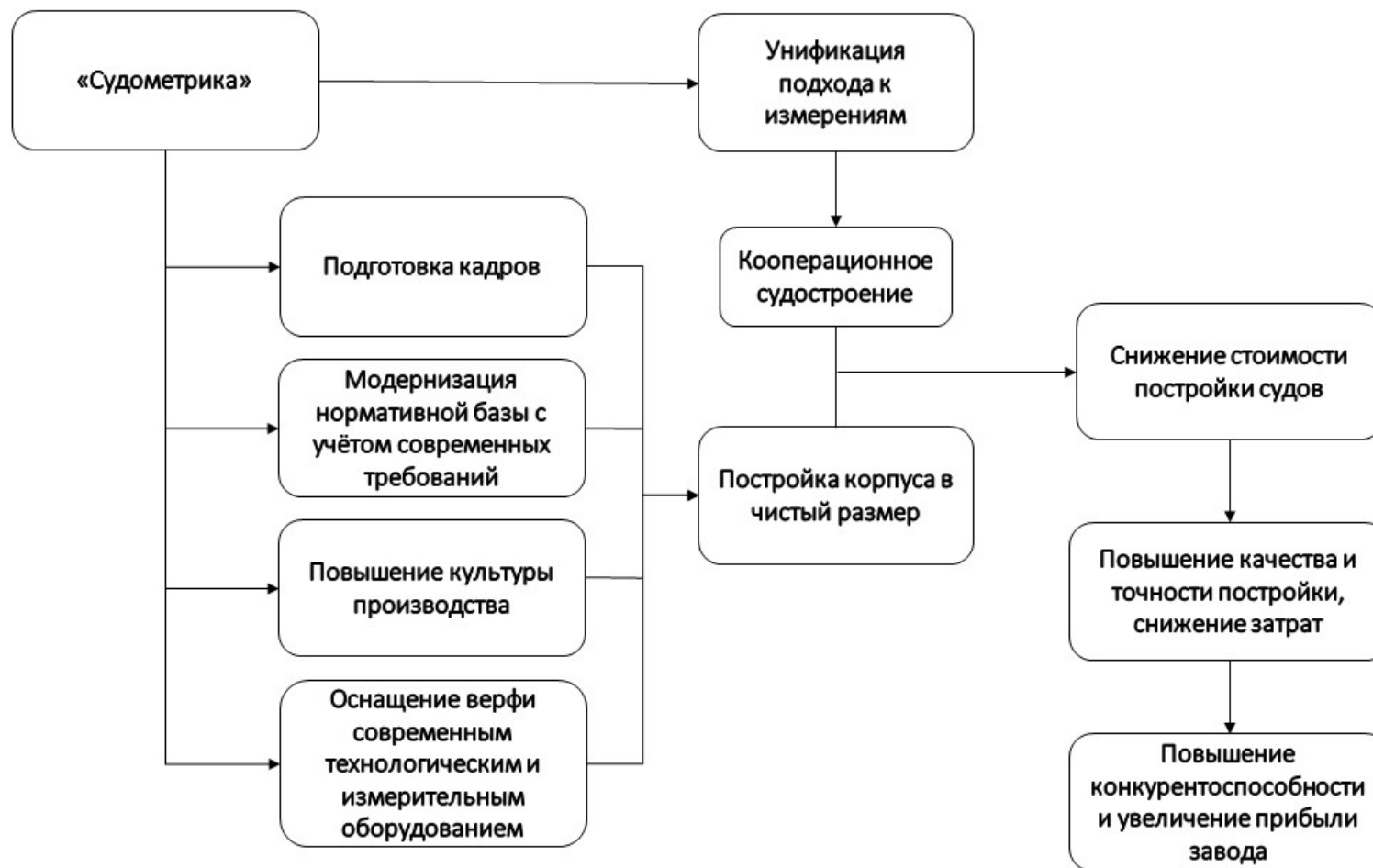
Бондарь Михаил Михайлович

*Судометрика – комплекс измерительных и аналитических операций, направленных на обеспечение точности постройки судового корпуса, а также изготовления и монтажа объектов судового машиностроения и судовых систем.*

# Цели проекта «Судометрика»

Конечной целью внедрения проекта «Судометрика» является снижение стоимости постройки гражданских и военных заказов на предприятиях, судостроительной промышленности. Однако, эту стратегическую цель, достижение которой, несомненно займёт значительный период времени, можно разделить на следующие составные части:

- Обеспечение единства подхода при проведении измерений на предприятиях судостроительной отрасли РФ
- Повышение возможностей внутриотраслевой кооперации
- Повышение точности изготовления судовых конструкций, изготовления и монтажа элементов пропульсивного комплекса судна
- Снижение объёма пригоночных работ на стапельном этапе постройки
- Повышение конкурентоспособности отечественных судостроительных предприятий
- Цифровизация производств (индустрия 4.0)



## Сварочные деформации



```
graph TD; A[Сварочные деформации] --> B[Прогнозируемые]; A --> C[Непрогнозируемые];
```

### Прогнозируемые

Обусловлены физическими процессами, происходящими в материале в процессе сварки, в том числе нелинейностью теплофизических свойств стали

### Непрогнозируемые

Обусловлены нарушением режимов сварки и иными отступлениями от технологических спецификаций сварки

# Теплофизические свойства сталей

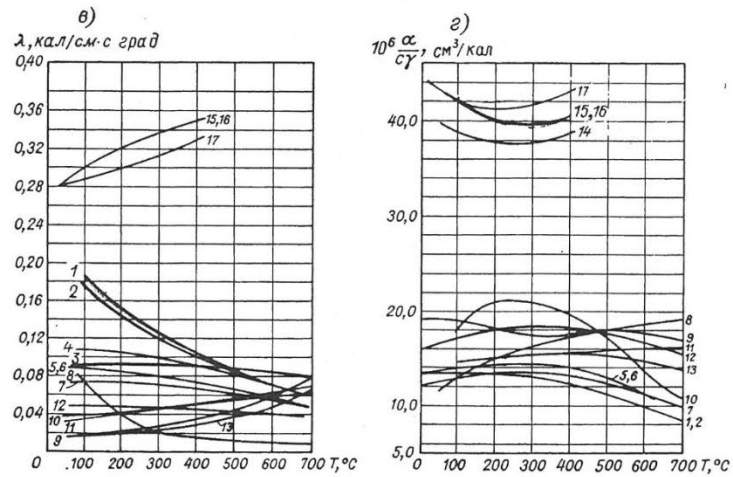
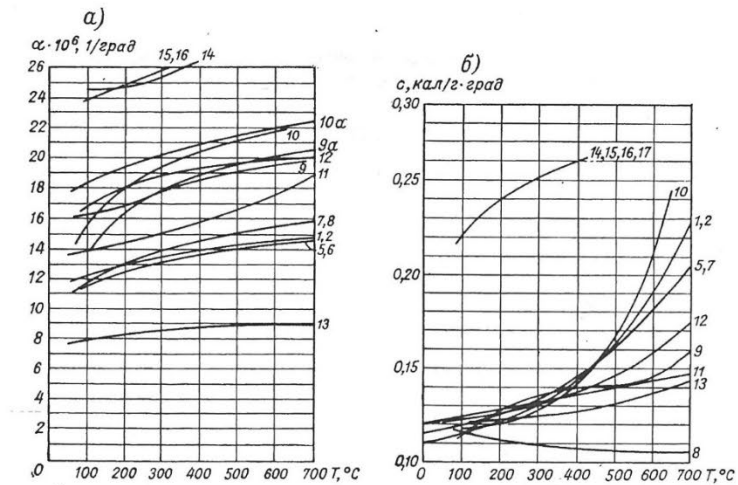


Рис. 13. Истинные значения теплофизических свойств основных сталей и сплавов, применяемых в судостроении, при различных температурах: а — коэффициент линейного расширения ( $\alpha$ ); б — удельная теплоемкость ( $c$ ); в — коэффициент теплопроводности ( $\lambda$ ); г — коэффициент деформации ( $\frac{\alpha}{\sigma \gamma}$ ).

1 — ВСт.2сп; 2 — ВСт.3сп; 3 — 09Г2; 4 — 10ХСД-35; 5 — 10ХСНД; 6 — 10ХГСНД; 7 — АК-25; 8 — АК-29; 9 — Ю3 и Ю3Б; 10 — Ю3Х и Ю3А; 11 — 0Х17НЮ; 12 — Х18Н10Т; 13 — Сп.3; 14 — АМц; 15 — АМг; 16 — АМг5; 17 — АМг6Т.

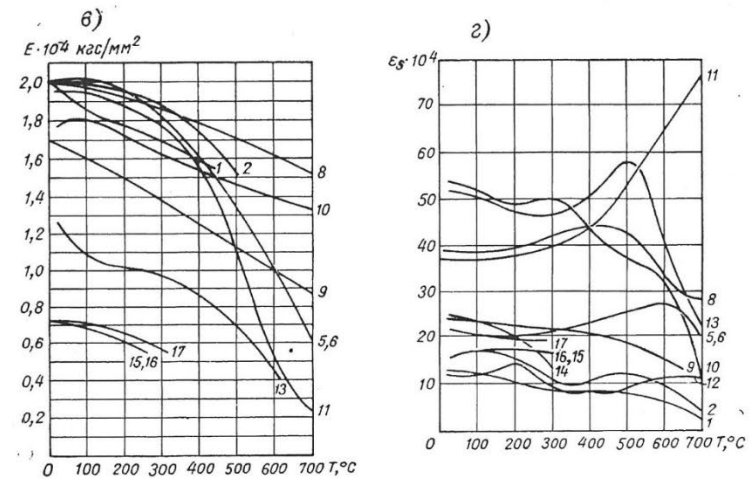
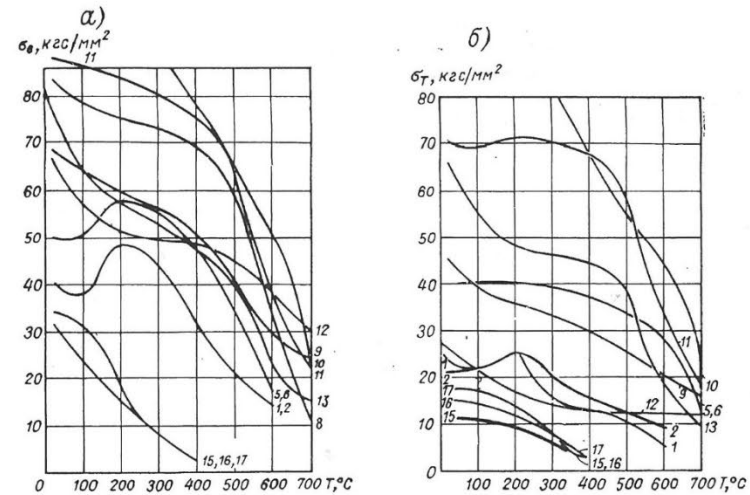
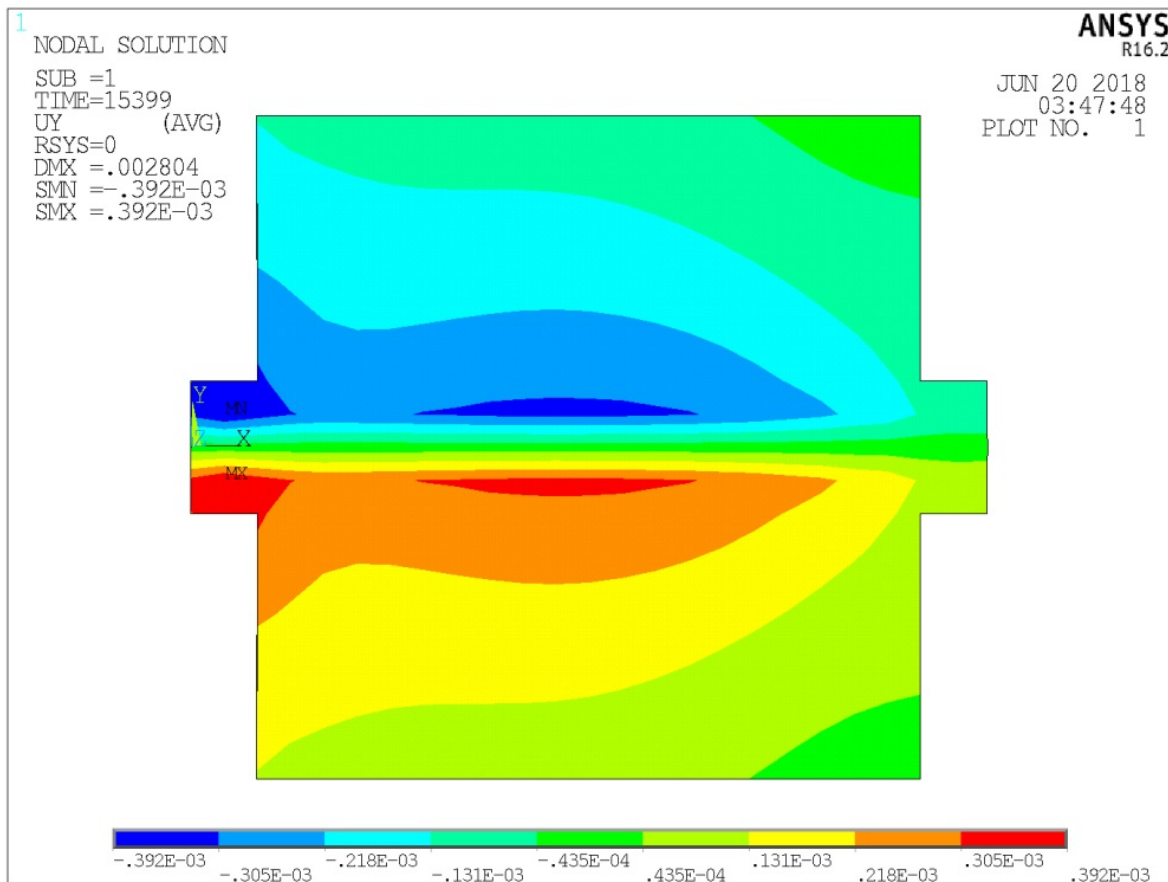


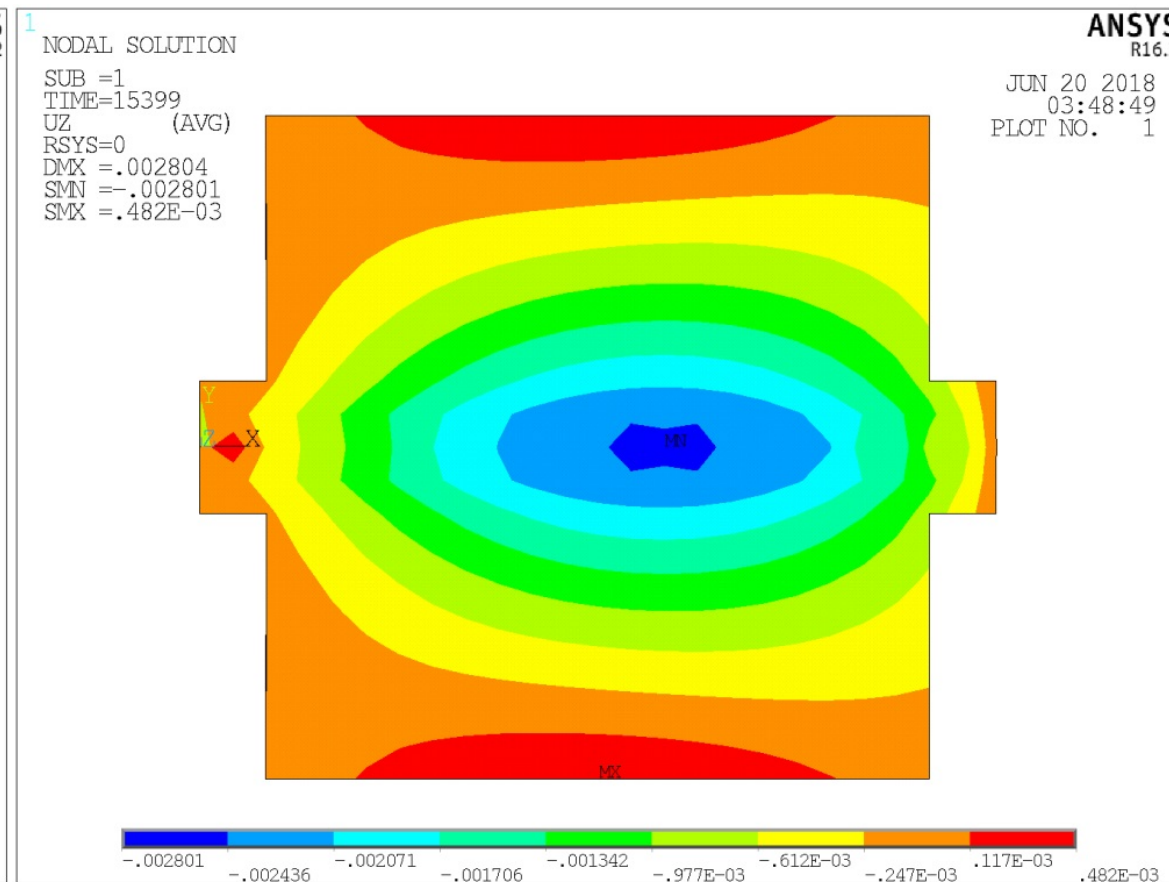
Рис. 14. Истинные значения механических свойств основных сталей и сплавов, применяемых в судостроении, при различных температурах: а — временное сопротивление ( $\sigma_{\text{в}}$ ); б — предел текучести ( $\sigma_{\text{т}}$ ); в — модуль нормальной упругости ( $E$ ); г — относительная деформация, соответствующая пределу текучести ( $\epsilon_s$ ).



# Пример результатов МКЭ-расчёта сварки полотнища обшивки

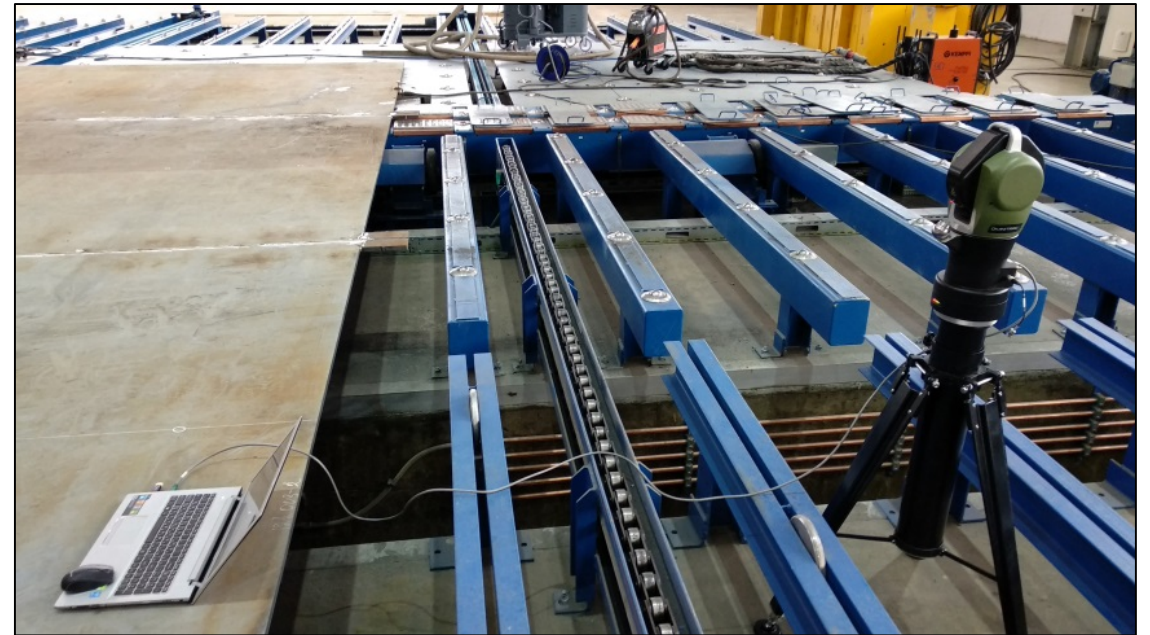


Поперечные деформации в полотнище



Вертикальные деформации в полотнище

- Проводятся при помощи высокоточного измерительного оборудования
- Позволяют с достаточной точностью определить величины деформаций на участках с автоматической сваркой
- Подход методологически прост, но требует подготовленности материально-технической базы предприятия (наличие лазерного трекера и обученного персонала)





- Возникают по вине человека вследствие нарушения технологии сварки или использования материалов и оборудования низкого качества
- Носят случайный характер вследствие чего непредсказуемы
- В большинстве случаев вызваны авральным режимом работы или стремлением сварщика проварить большее количество сварных швов за единицу времени
- Возможно устранить полностью или минимизировать до пренебрежительно малых величин путём повышения культуры производства



Постройка в корпуса «чистый размер» - метод изготовления судовых корпусных конструкций, обеспечивающий стыковку объёмных секций и блоков судового корпуса без проведения пригоночных работ и удаления припусков на стапельном этапе постройки

- Перенести операции исправления и подгонки со стапеля в цеха
- Минимизировать объём пригоночных операций при формировании корпуса и объёмных корпусных конструкций
- Определить величины несовмещений, возникающих в корпусных конструкциях с целью их заблаговременной компенсации
- Определить причины возникновения несовмещений, в корпусных конструкциях с целью их устранения или локализации
- Внести необходимые изменения в технологию постройки, для минимизации и (при наличии такой возможности) полной компенсации несоответствия реальной формы объекта проектной

Данный порядок назван условным неспроста. Так как, фактически, все эти шаги выполняются параллельно и итерационно.

Типы и возможности применяемого измерительного оборудования. Краткий обзор возможностей используемого ПО



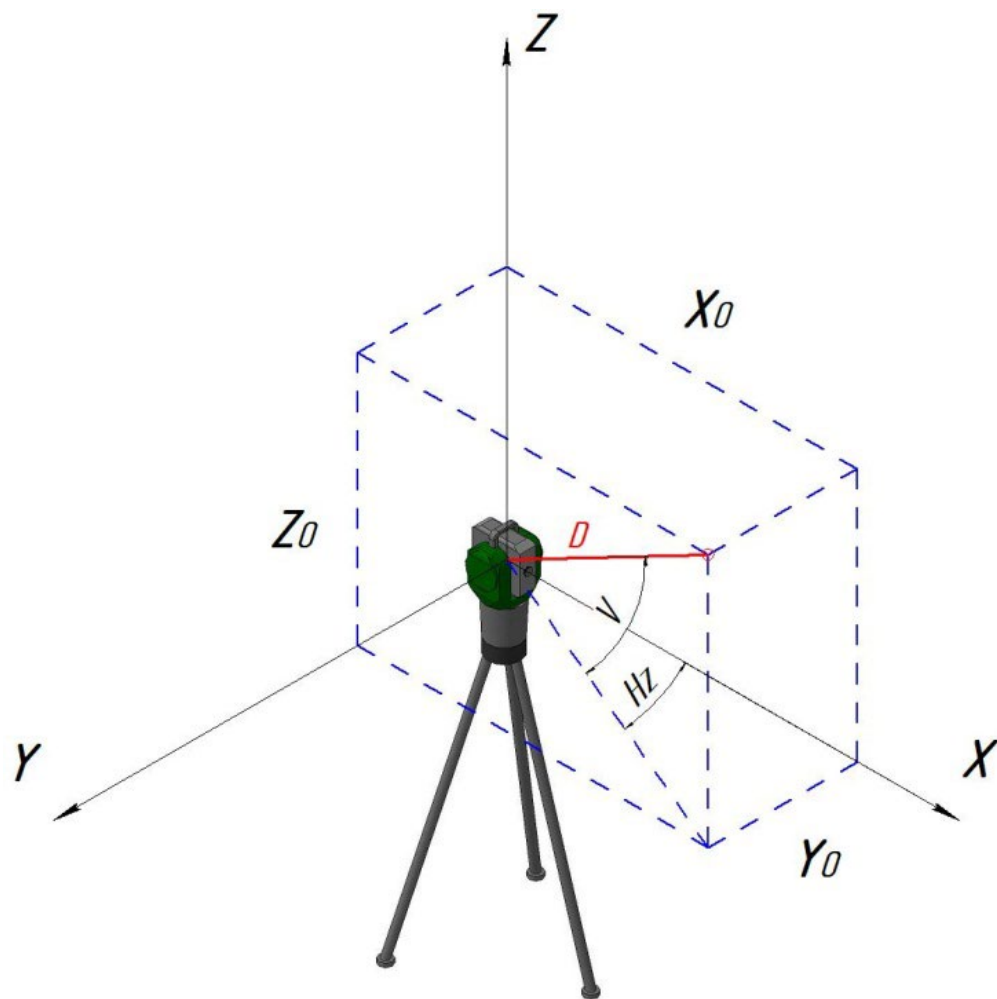
# Основные характеристики средств измерений (СИ), влияющие на применяемость оборудования в судостроении

- Объёмная точность измерений
- Мобильность и удобство системы
- Диапазон измеряемых расстояний
- Скорость измерений
- Иные параметры

- Роботизированные высокоточные тахеометры
- Лазерные трекеры
- Лазерные сканеры

Дополнительными СИ для решения специализированных задач могут являться:

- Портативные координатно-измерительные машины (КИМ) типа «Рука»
- Стационарные порталные КИМ

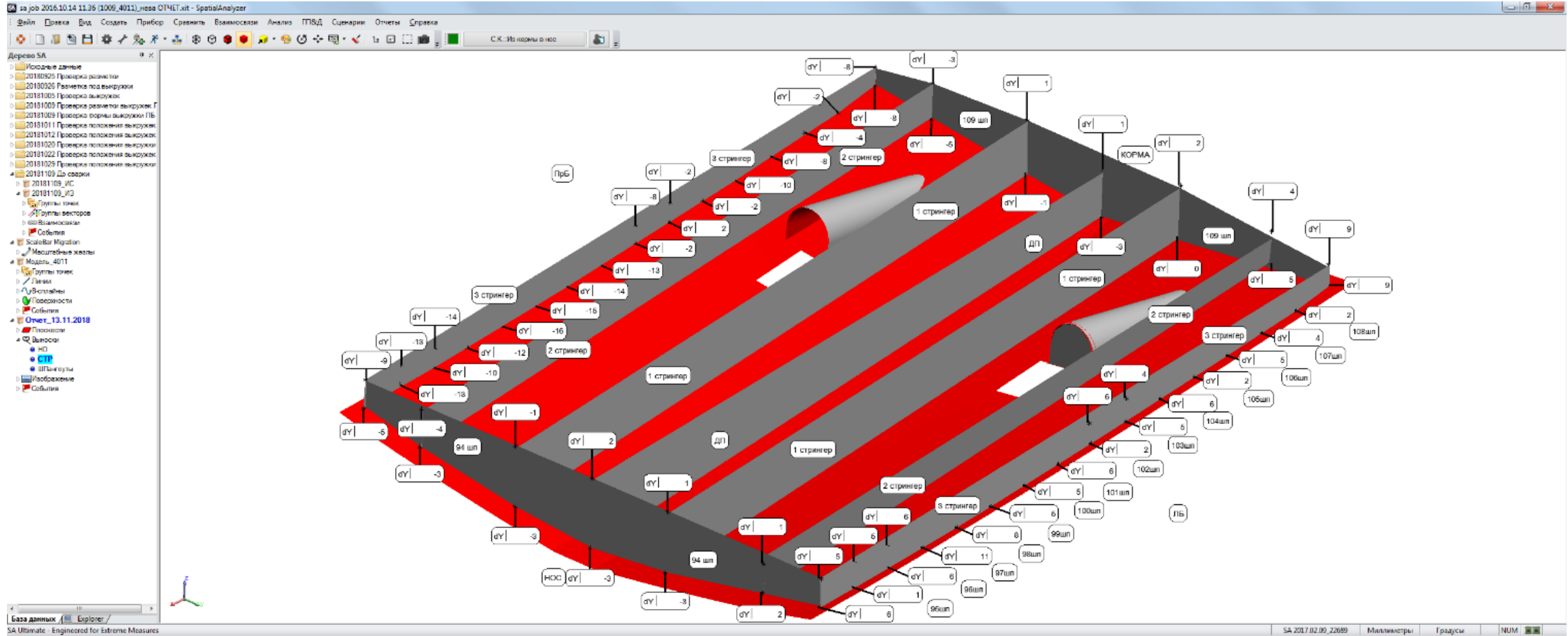


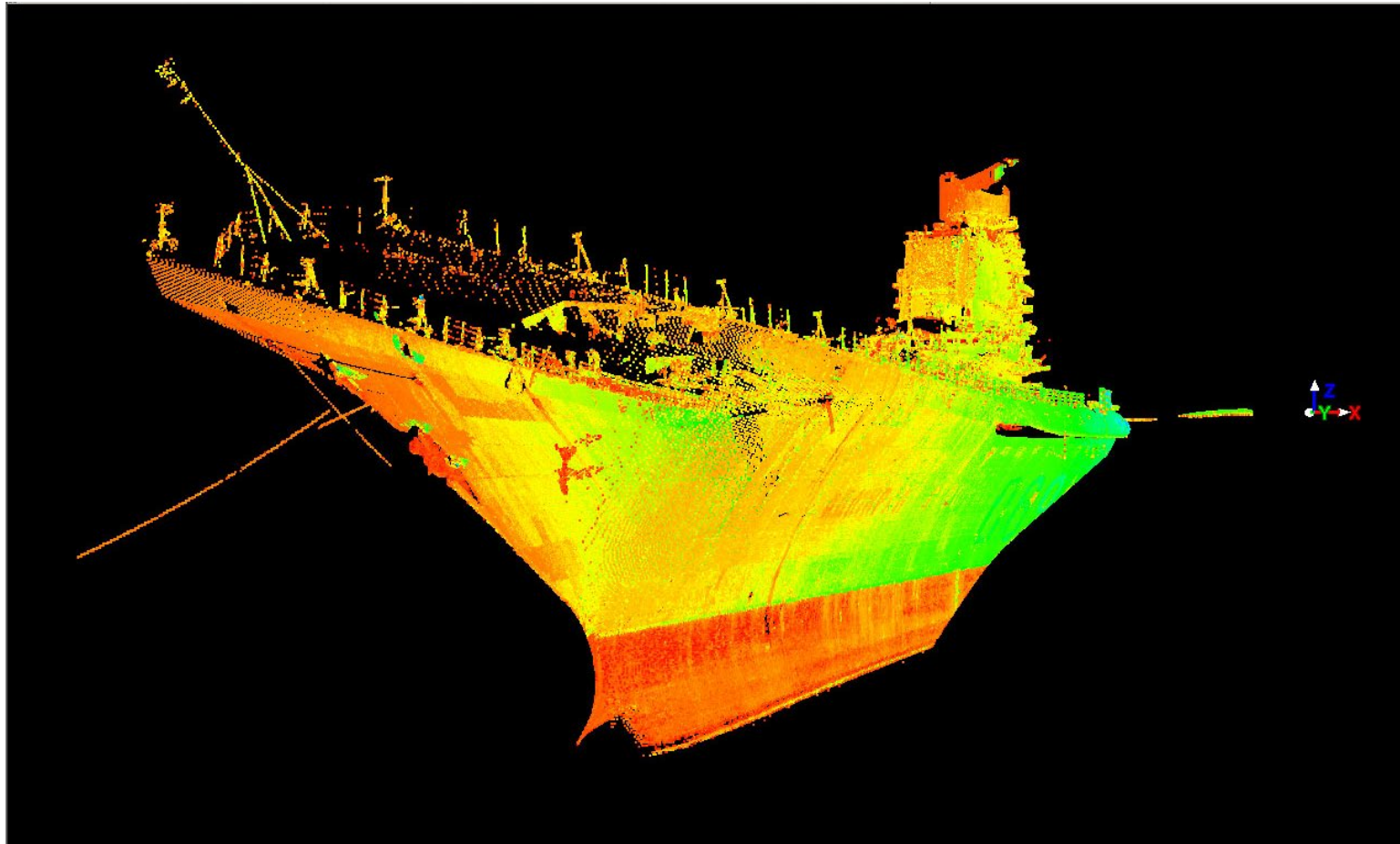
$$X_0 = D * \cos(Hz);$$

$$Y_0 = D * \sin(Hz);$$

$$Z_0 = D * \cos(V);$$

где  $V$  – значение вертикального угла,  
 $H_z$  – значение горизонтального угла,  
 $D$  – показания дальномера.

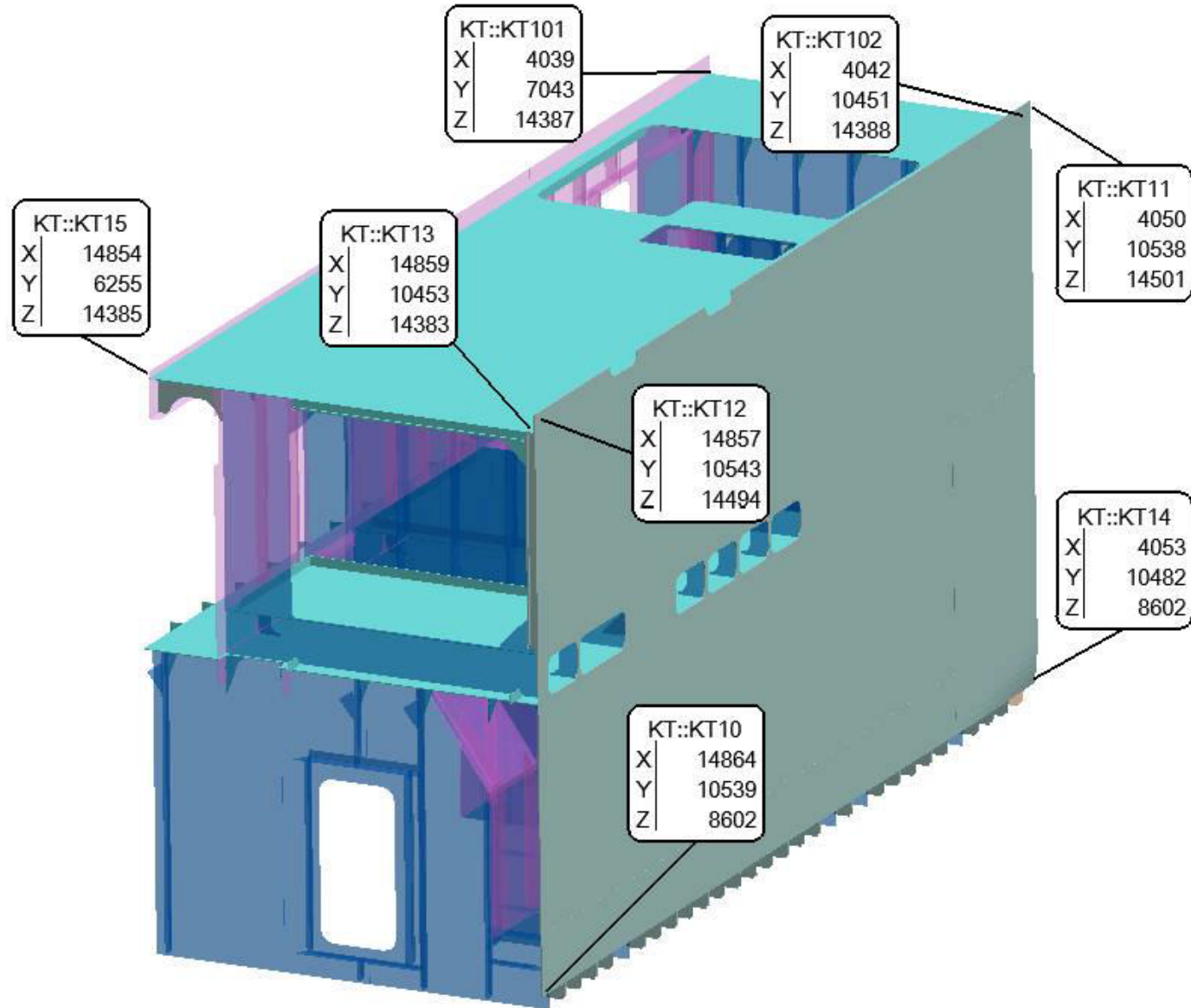






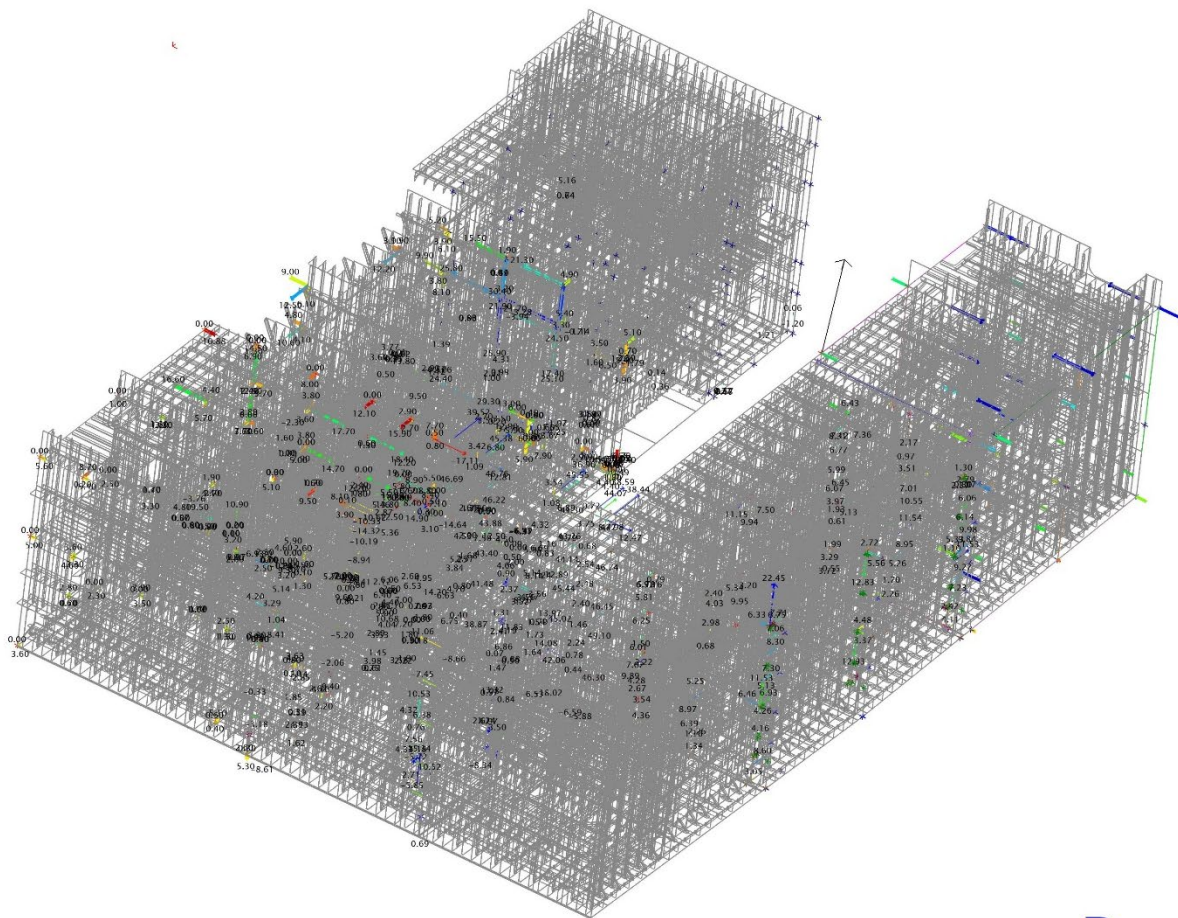
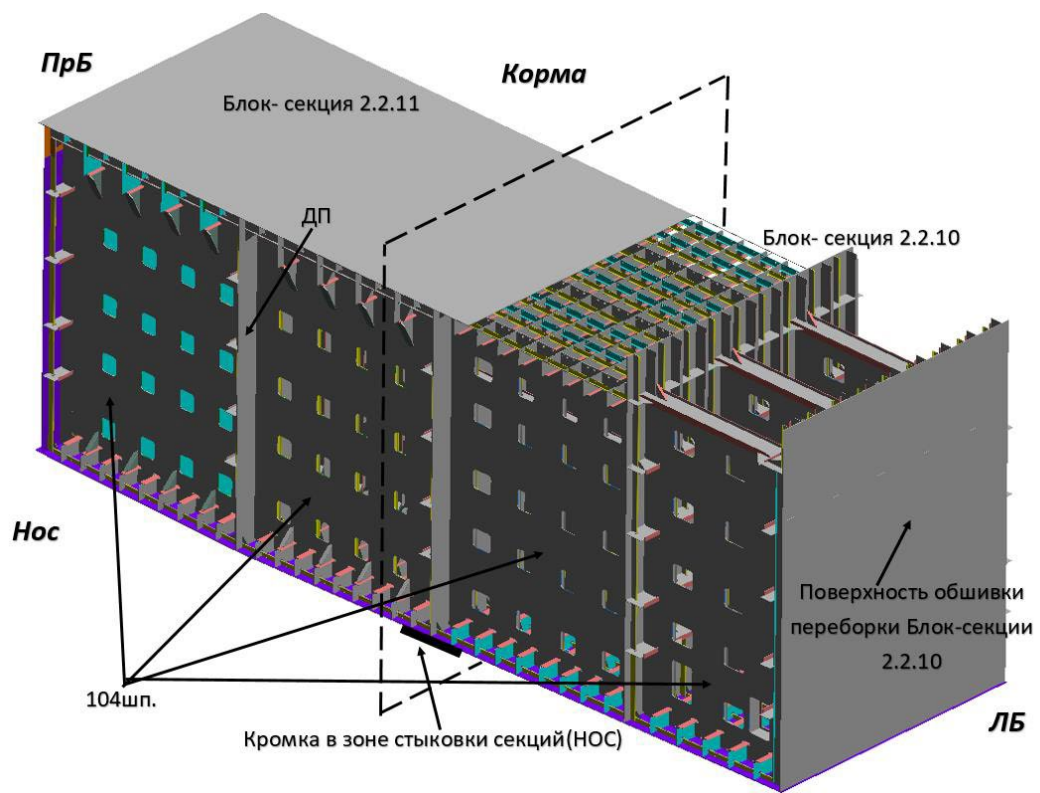
Электронный паспорт – Структурированная совокупность данных о геометрических характеристиках пространственных корпусных конструкциях, полученных при помощи высокоточных измерительных средств.

№	Теоретические/проектные координаты			Фактические координаты			D			Примечание
	X мм	Y мм	Z мм	X мм	Y мм	Z мм	X мм	Y мм	Z мм	
1	32516	-7500	-260.0	32511.1	-7495.6	-260.0	-4.9	4.4	0.0	
2	32800	-7500	-344.2	32789.5	-7495.6	-344.2	-10.5	4.4	0.0	
3	32516	-7800	-327.4	32511.1	-7798.5	-327.4	-4.9	1.5	0.0	
4	32516	-7500	5300	32514.3	-7502.3	5296.1	-1.7	-2.3	-3.9	3ПрРЖ
5	32516	-7500	6500	32516.7	-7505.1	6494.6	0.7	-5.1	-5.4	Настил 6500
6	32516	11	-427.4	32511.5	11.5	-427.4	-4.5	0.5	0.0	
7	32800	0	-491.9	32787.5	2.0	-491.9	-12.5	2.0	0.0	
8	32516	11	5300	32510.1	8.0	5294.1	-5.9	-3.0	-5.9	3ПрРЖ
9	32800	0	5291.1	32787.1	-1.8	5291.1	-12.9	-1.8	0.0	
10	32516	11	6500	32510.0	10.6	6493.1	-6.0	-0.4	-6.9	Настил 6500
11	32800	0	6493.0	32787.0	-0.4	6493.0	-13.0	-0.4	0.0	
12	32516	7800	-320.3	32516	7801.8	-320.3	0.0	1.8	0.0	
13	32516	7500	229.5	32509.0	7485.8	229.5	-7.0	-14.2	0.0	
14	32800	7500	-306.6	32784.9	7498.2	-306.6	-15.1	-1.8	0.0	
15	32516	7500	5300	32507.6	7492.9	5308.4	-8.4	-7.1	8.4	3ПрРЖ
16	32800	7500	5313.5	32782.4	7503.1	5313.5	-17.6	3.1	0.0	
17	32516	7500	6500	32507.1	7500.5	6505.5	-8.9	0.5	5.5	Настил 6500
18	32800	7500	6509.1	32780.3	7514.9	6509.1	-19.7	14.9	0.0	
19	31022	-7500	274.6	31024.9	-7497.1	274.6	2.9	2.9	0.0	
20	31022	-7500	5300	31028.5	-7503.5	5298.4	6.5	-3.5	-1.6	3ПрРЖ
21	31022	11	564.3	31019.9	10.5	564.3	-2.1	-0.5	0.0	
22	31022	11	5300	31021.8	7.5	5293.2	-0.2	-3.5	-6.8	3ПрРЖ
23	31022	7500	314.6	31021.4	7497.5	314.6	-0.6	-2.5	0.0	
24	31022	7500	5300	31016.5	7493.4	5305.8	-5.5	-6.6	5.8	3ПрРЖ
25	29011	-7522	0	28981.7	-7522.6	-7.9	-29.3	-0.6	-7.9	
26	29011	-7522	5300	28989.3	-7525.3	5282.6	-21.7	-3.3	-17.4	
27	29011	-7522	5800	28980.6	-7527.4	5774.9	-30.4	-5.4	-25.1	



Виртуальная сборка – операция совмещения моделей измеренных конструкций, полученным методами обратного инжиниринга, наборов или облаков точек стыкуемых объектов в цифровой среде специализированного ПО с целью оценки собираемости конструкции и определения величин несовмещений.

# Пример проведения виртуальной сборки судовых блоков





Группа размерного контроля – самостоятельное структурное подразделение предприятия, выполняющее контроль формы и характерных размеров судовых корпусных конструкций и объектов судового машиностроения, а также сопровождение сборки-сварки корпусных конструкций и элементов судового корпуса и монтажа объектов судового машиностроения и судовых систем.

В зависимости от штатного расписания и структуры предприятия Группа размерного контроля (ГРК) может являться отделом или бюро.

Группа курсов дополнительного  
профессионального образования  
«Судометрика»

По указанию президента АО «ОСК» Рахманова А.Л. в 2019 году на базе Санкт-Петербургского Государственного Морского Технического Университета сотрудниками ООО «Нева Технолоджи» были разработаны и утверждены следующие дополнительные профессиональные программы повышения квалификации:

Судометрика. Вводный курс.

Судометрика. Базовый теоретический курс.

Судометрика. Базовый практический курс.

Судометрика. Углублённый практический курс.

### Уровень 1. Вводный лекционный курс

**Продолжительность:** 16 академических часов

**Количество человек:** 20

**Целевая аудитория:** сотрудники ГРК, сотрудники управлений качеством, инженеры-технологи, инженеры-проектировщики, судовые поверщики, начальники цехов, участков, мастера

**Итоговая аттестация:** зачёт



### Уровень 2. Базовый лекционный курс

**Продолжительность:** 28 часов

**Количество человек:** 20

**Целевая аудитория:** сотрудники ГРК, сотрудники управлений качеством, инженеры-технологи, инженеры-проектировщики, судовые поверщики, начальники цехов, участков, мастера

**Итоговая аттестация:** письменный экзамен



### Уровень 3. Базовый практический курс

**Продолжительность:** 48 часов

**Количество человек:** 6

**Целевая аудитория:** сотрудники ГРК, судовые поверщики

**Итоговая аттестация:** практический экзамен



### Уровень 4. Углубленный практический курс

**Продолжительность:** 48 часов

**Количество человек:** 6

**Целевая аудитория:** сотрудники ГРК

**Итоговая аттестация:** практический экзамен

- Высокоточное измерительное оборудование в судостроении. Обзор СИ, применяемость, и ПО
- «Судометрика»
- Сварочные деформации
- Электронные паспорта
- ГРК: структура, задачи, ответственность
- Типовые методологические рекомендации к проведению измерений на всех технологических участках
- Несовмещения в корпусных конструкциях и пути предотвращения их появления
- 12 дней практики работы с тахеометрами и лазерными трекерами.







Спасибо за внимание!

Бондарь М.М.

+7 (931) 381-45-58

[Mikhail.bondar@nevatec.ru](mailto:Mikhail.bondar@nevatec.ru)

nevatec.ru