



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ

Отраслевой центр компетенций  
«ИНЖЕНЕРНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ»

# Урок 4

## Анализ результатов расчета. Типизация проектных решений в части подбора диаметров рабочей арматуры

**ШКОЛА ПРОЕКТИРОВЩИКОВ**

Кононов Дмитрий Александрович  
Руководитель направления

06.03.2024

# Армирование



Принципы армирования:

- рациональное армирование железобетонных конструкций (основные сжимающие усилия передаются на бетон, а растягивающие и сдвигающие – на арматуру);
- экономное расходование стали;
- монолитность конструкции в целом.

# Условные обозначения результатов расчета для разработки чертежей армирования

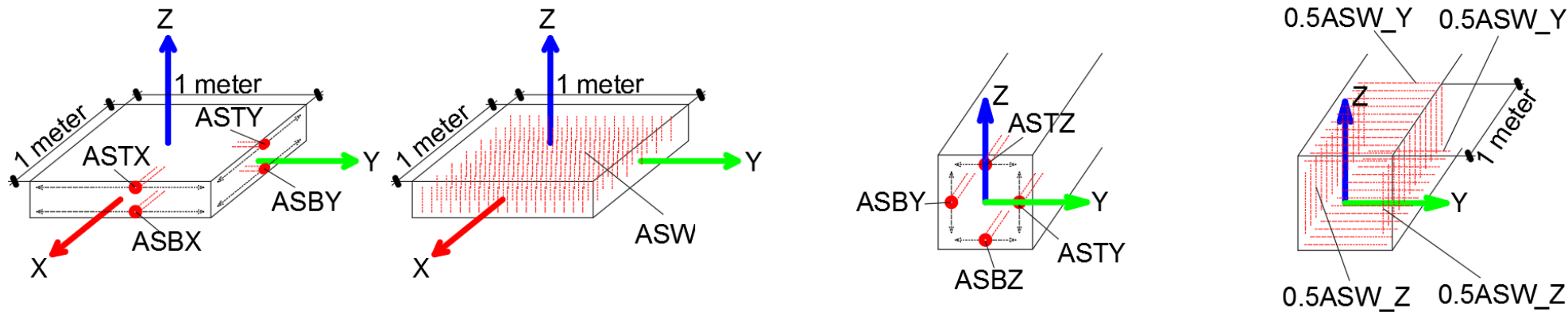


Рисунок 1 — схемы вывода результатов армирования для КЭ оболочки и для стержневых КЭ

Обозначение	Ед. изм.	Описание
$A_{STX}$	см <sup>2</sup> /м	Продольное армирование вдоль локальной оси x, верхнее
$A_{SBX}$	см <sup>2</sup> /м	Продольное армирование вдоль локальной оси x, нижнее
$A_{STY}$	см <sup>2</sup> /м	Продольное армирование вдоль локальной оси y, верхнее
$A_{SBY}$	см <sup>2</sup> /м	Продольное армирование вдоль локальной оси y, нижнее
$A_{SW}$	см <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>	Поперечное армирование

Примечание – при армировании плит и стен направление вверх совпадает с направлением локальной оси элемента z

# Параметры внешних воздействий и результаты инженерных изысканий



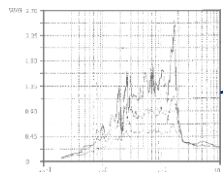
АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ



Aircraft crash



Snow loads



Earthquake



Hurricanes,  
storms, tornado

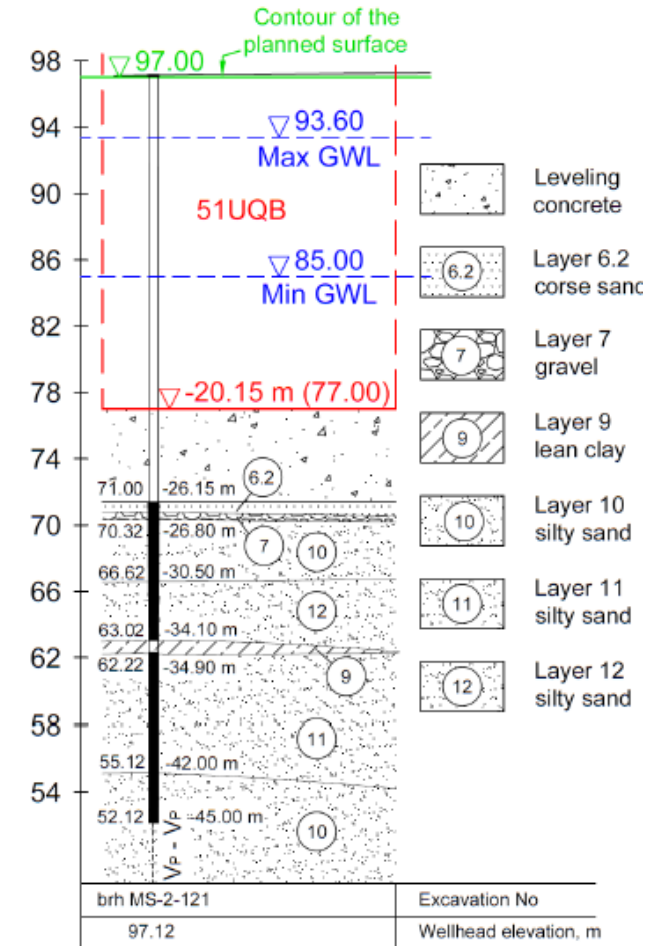


Explosions



Flooding

Параметры внешних воздействий  
(зависят от классификация здания)



Геологические условия





# Комбинации загружений



- Результаты расчетов НДС конструкций комбинируются согласно методу суперпозиции сил (результат действия двух нагрузок равен сумме результатов воздействий от каждой нагрузки);
- Расчетные комбинации усилий составляются по требованиям строительных норм и правил с учетом:
  - коэффициентов безопасности по нагрузкам;
  - коэффициентов сочетаний нагрузок;
  - правил сопутствия и взаимоисключения для определенных нагрузок.
- Для сооружения с 10 нагрузками по правилам комбинаторики требуется рассмотреть сотни комбинаций;
- В условиях ограничений ПО инженер в праве выбрать самостоятельно наиболее влияющие комбинации для подбора армирования.

Load combinations	Permanent loads (G) <sup>1)</sup>							Live long-term loads (Q <sub>lt</sub> ) <sup>1)</sup>		Live short-term loads (Q <sub>s/T</sub> ) <sup>1)</sup>											
	G <sub>sw</sub>	G <sub>sp</sub>	G <sub>SH,H</sub>	G <sub>SH,V</sub>	G <sub>H</sub>	G <sub>EQ</sub>	P	Q <sub>EQ</sub>		Q <sub>i</sub>		Q <sub>CL</sub>		Q <sub>v</sub>		Q <sub>w</sub>		Q <sub>t</sub>			
	γ <sub>f</sub> × γ <sub>n</sub>	γ <sub>f</sub> × γ <sub>n</sub>	γ <sub>f</sub> × γ <sub>n</sub>	γ <sub>f</sub> × γ <sub>n</sub>	γ <sub>f</sub> × γ <sub>n</sub>	γ <sub>f</sub> × γ <sub>n</sub>	γ <sub>f</sub> × γ <sub>n</sub>	γ <sub>f</sub> × γ <sub>n</sub>	ψ <sub>lt</sub>	γ <sub>f</sub> × γ <sub>n</sub>	ψ <sub>lt</sub>	γ <sub>f</sub> × γ <sub>n</sub>	ψ <sub>lt</sub>	γ <sub>f</sub> × γ <sub>n</sub>	ψ <sub>lt</sub>	γ <sub>f</sub> × γ <sub>n</sub>	ψ <sub>lt</sub>	γ <sub>f</sub> × γ <sub>n</sub>	ψ <sub>lt</sub>	γ <sub>f</sub> × γ <sub>n</sub>	ψ <sub>lt</sub>
Normal operation conditions																					
LC01	1.21	1.26	1.26	1.10	1.10	1.16	1.10	1.32	1.0	1.32	1.0	1.32	0.9	1.32	0.7	1.54	0.7	1.21	0.7		
	1.21	1.26	1.26	1.10	1.10	1.16	1.10	1.32		1.32		1.19		0.92		1.08		0.85			
LC02	1.21	1.26	1.26	1.10	1.10	1.16	1.10	1.32	1.0	1.32	0.9	1.32	1.0	1.32	0.7	1.54	0.7	1.21	0.7		
	1.21	1.26	1.26	1.10	1.10	1.16	1.10	1.32		1.19		1.32		0.92		1.08		0.85			
LC03	1.21	1.26	1.26	1.10	1.10	1.16	1.10	1.32	1.0	1.32	0.9	1.32	0.7	1.32	1.0	1.54	0.7	1.21	0.7		
	1.21	1.26	1.26	1.10	1.10	1.16	1.10	1.32		1.19		0.92		1.32		1.08		0.85			
LC04	1.21	1.26	1.26	1.10	1.10	1.16	1.10	1.32	1.0	1.32	0.9	1.32	0.7	1.32	0.7	1.54	1.0	1.21	0.7		
	1.21	1.26	1.26	1.10	1.10	1.16	1.10	1.32		1.19		0.92		0.92		1.54		0.85			

# Алгоритмы формирования эпюр усилий и армирования



- Подбор армирования ведется по двум группам предельных состояний;
- Площадь требуемого армирования вычисляется программными алгоритмами на каждую выбранную комбинацию нагрузок;
- На последнем этапе для каждого КЭ выбирается максимальное расчетное армирование по всем возможным комбинациям;
- Такое расчетное значение армирования сводится в цветные диаграммы «оггибающей» армирования.

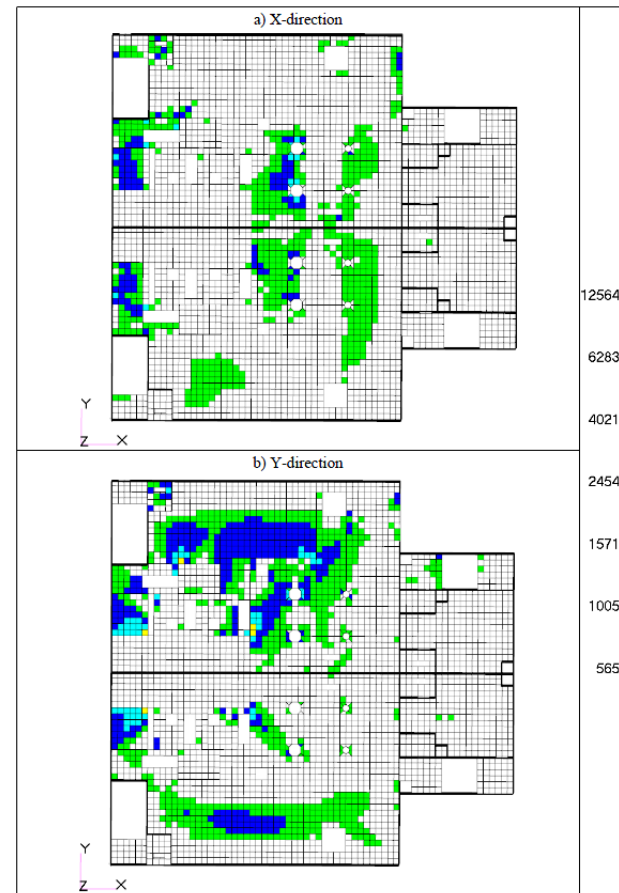


Figure D.9 – Slab at elevation ±0.000 m. Bottom longitudinal reinforcement ( $\text{mm}^2/\text{m}$ )

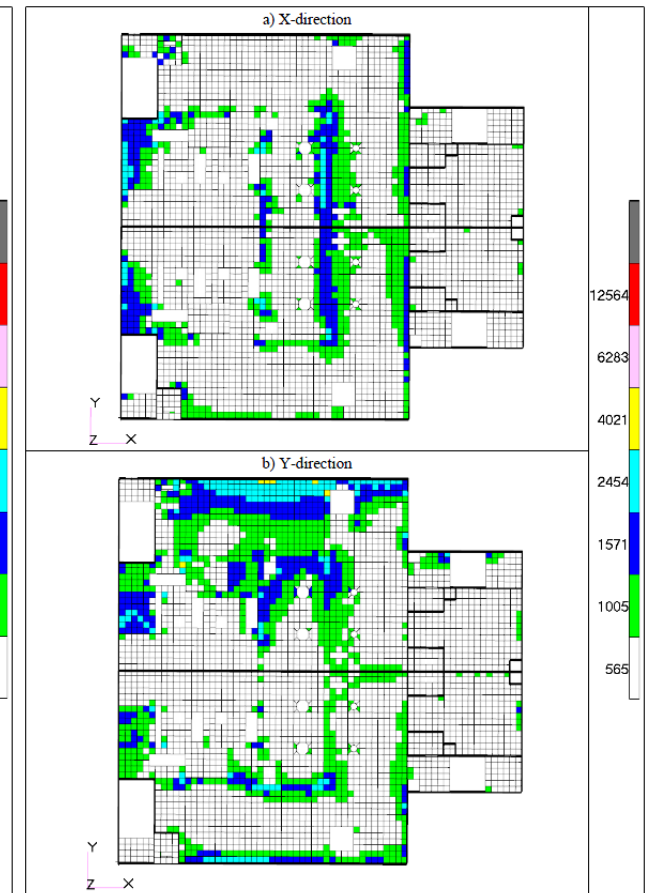


Figure D.10 – Slab at elevation ±0.000 m. Top longitudinal reinforcement ( $\text{mm}^2/\text{m}$ )

# Чтение результатов расчета для конструирования армирования



Армирование ЖБК производится на основании результатов прочностного расчета – определение площади поперечного сечения рабочей арматуры, необходимой для обеспечения несущей способности конструктивных элементов зданий.

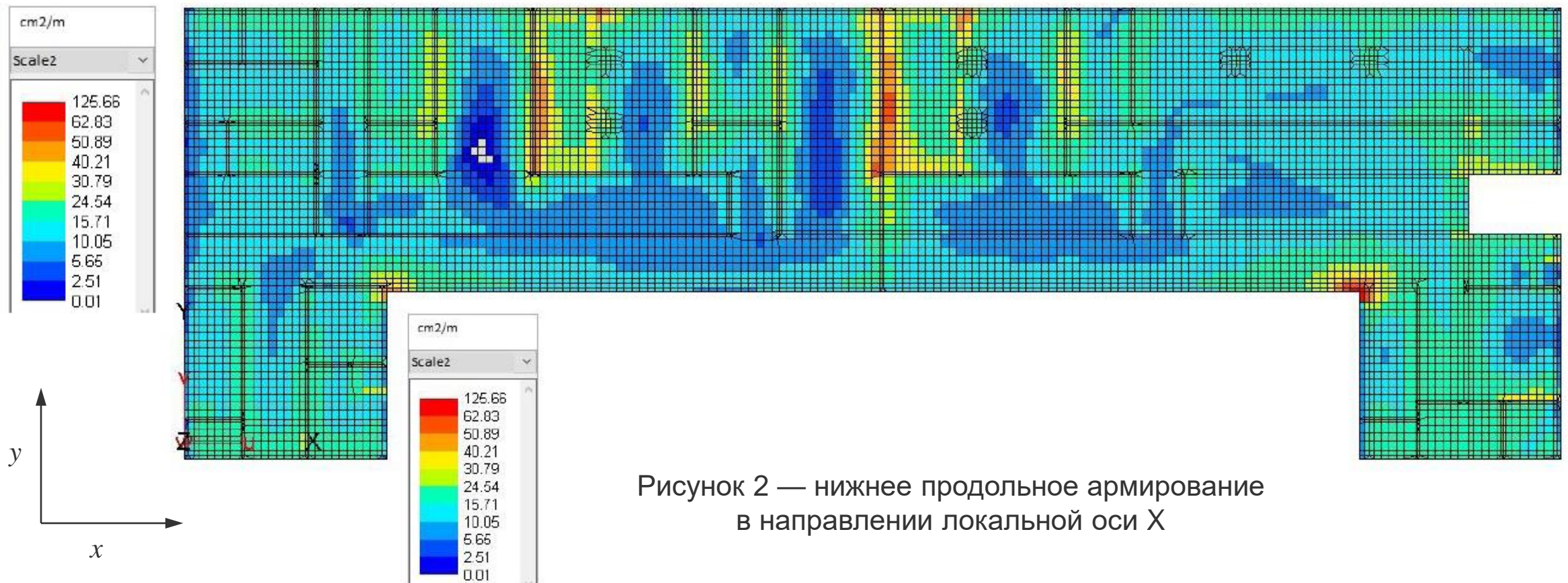
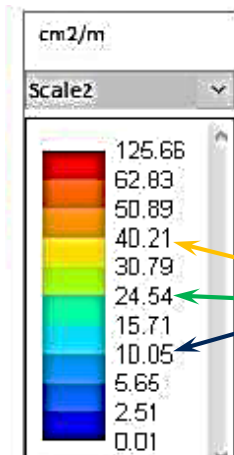
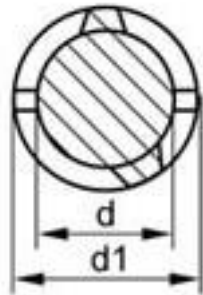


Рисунок 2 — нижнее продольное армирование  
в направлении локальной оси X



# Чтение результатов расчета для конструирования армирования



Диаметр, мм	Расчётные площади поперечного сечения в см <sup>2</sup> при числе стержней												Масса, кг/м	Диаметр, мм
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
3	0.071	0.14	0.21	0.28	0.35	0.42	0.49	0.57	0.64	0.71	0.78	0.85	0.055	3
4	0.126	0.25	0.38	0.50	0.63	0.75	0.88	1.01	1.13	1.26	1.38	1.51	0.099	4
5	0.196	0.39	0.59	0.79	0.98	1.18	1.37	1.57	1.77	1.96	2.16	2.36	0.154	5
6	0.283	0.57	0.85	1.13	1.41	1.70	1.98	2.26	2.54	2.83	3.11	3.39	0.222	6
8	0.503	1.01	1.51	2.01	2.51	3.02	3.52	4.02	4.52	5.03	5.53	6.03	0.395	8
10	0.785	1.57	2.36	3.14	3.93	4.71	5.50	6.28	7.07	7.85	8.64	9.42	0.617	10
12	1.131	2.26	3.39	4.52	5.65	6.79	7.92	9.05	10.18	11.31	12.44	13.57	0.888	12
14	1.539	3.08	4.62	6.16	7.70	9.24	10.78	12.32	13.85	15.39	16.93	18.47	1.208	14
16	2.011	4.02	6.03	8.04	10.05	12.06	14.07	16.08	18.10	20.11	22.12	24.13	1.578	16
18	2.545	5.09	7.63	10.18	12.72	15.27	17.81	20.36	22.90	25.45	27.99	30.54	1.998	18
20	3.142	6.28	9.42	12.57	15.71	18.85	21.99	25.13	28.27	31.42	34.56	37.70	2.466	20
22	3.801	7.60	11.40	15.21	19.01	22.81	26.61	30.41	34.21	38.01	41.81	45.62	2.984	22
25	4.909	9.82	14.73	19.63	24.54	29.45	34.36	39.27	44.18	49.09	54.00	58.90	3.853	25
28	6.158	12.32	18.47	24.63	30.79	36.95	43.10	49.26	55.42	61.58	67.73	73.89	4.834	28
32	8.042	16.08	24.13	32.17	40.21	48.25	56.30	64.34	72.38	80.42	88.47	96.51	6.313	32
36	10.179	20.36	30.54	40.72	50.89	61.07	71.25	81.43	91.61	101.79	111.97	122.15	7.990	36
40	12.566	25.13	37.70	50.27	62.83	75.40	87.96	100.53	113.10	125.66	138.23	150.80	9.865	40

Рисунок 3 – расчетные площади поперечного сечения

# Чтение результатов расчета для конструирования армирования



Рисунок 4 — нижнее продольное армирование  
в направлении локальной оси X



# Чтение результатов расчета для конструирования армирования

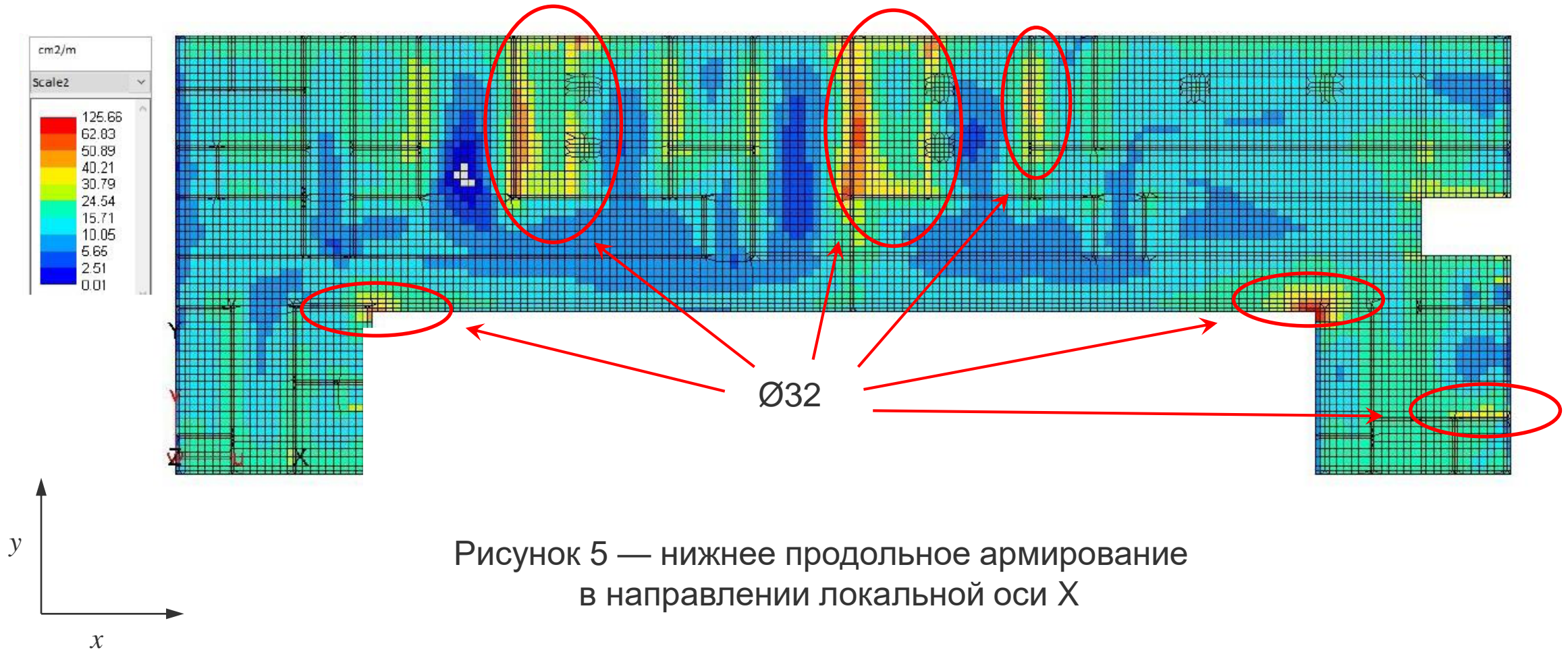


Рисунок 5 — нижнее продольное армирование  
в направлении локальной оси X



# Чтение результатов расчета для конструирования армирования

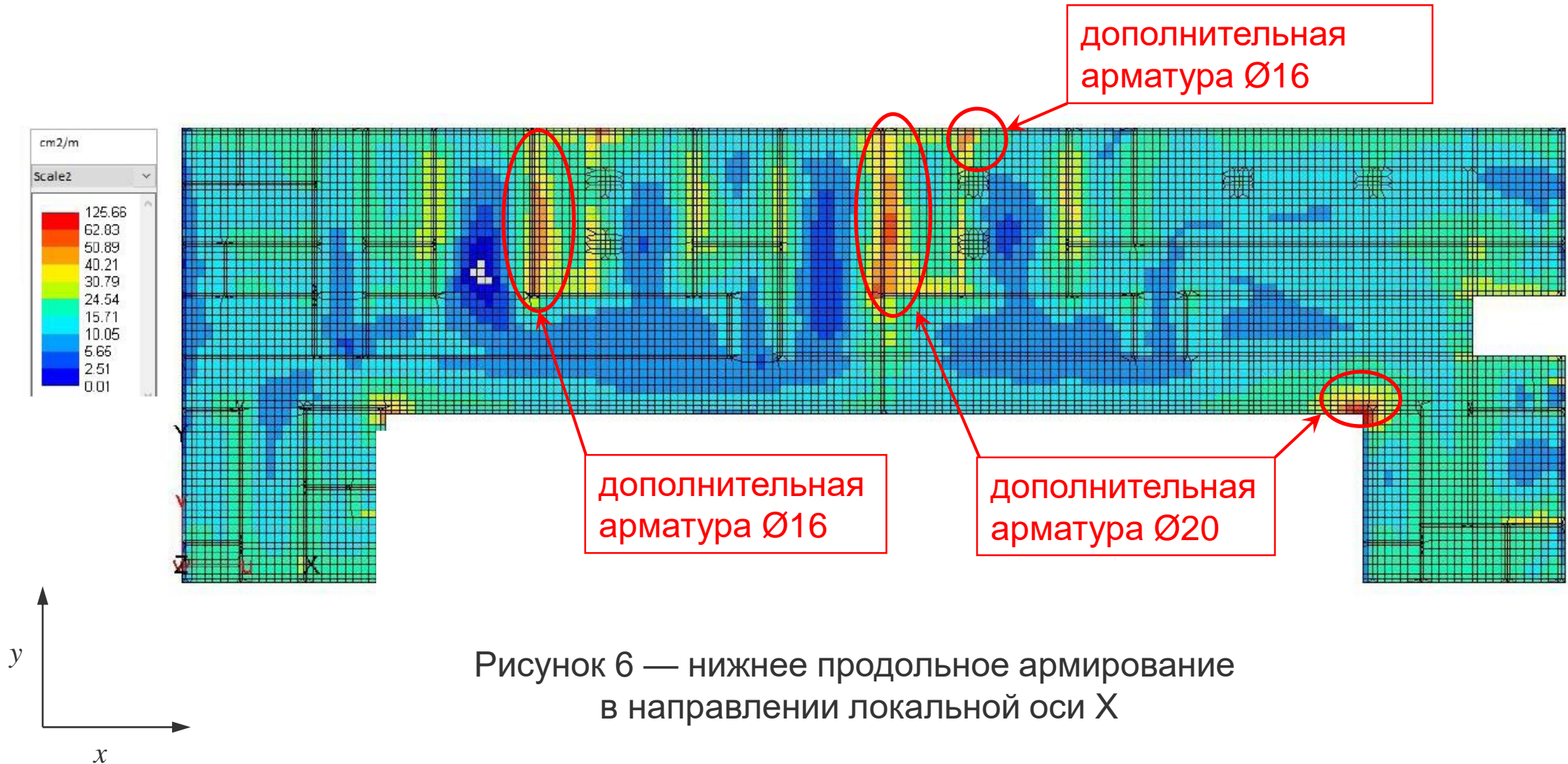


Рисунок 6 — нижнее продольное армирование  
в направлении локальной оси X



# Чтение результатов расчета для конструирования армирования

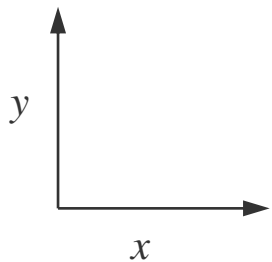
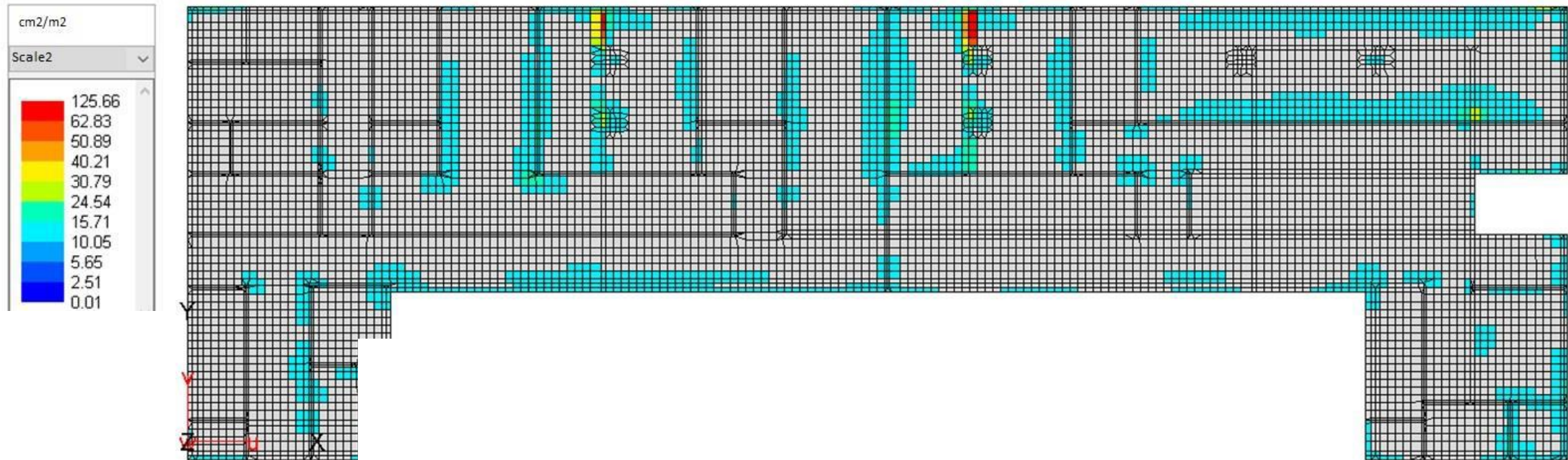
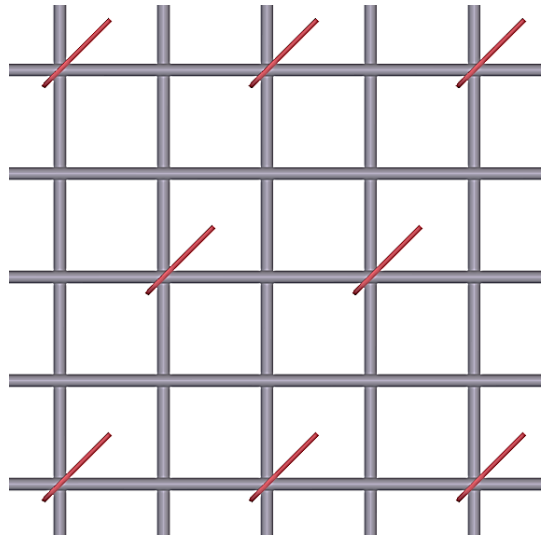


Рисунок 7 – поперечное армирование ( $\text{cm}^2/\text{m}^2$ )

# Чтение результатов расчета для конструирования армирования

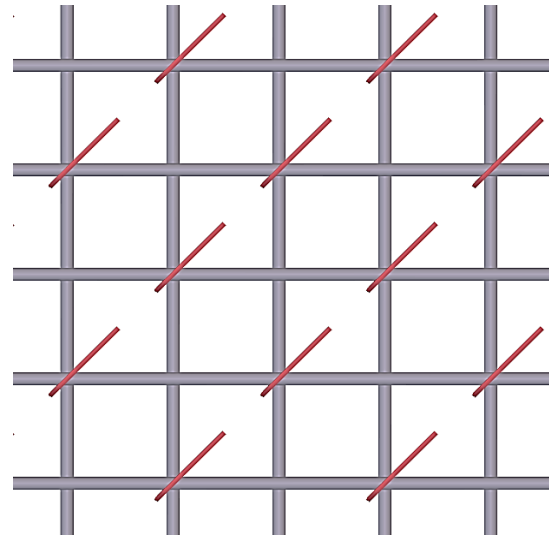


АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ  
РОСАТОМ



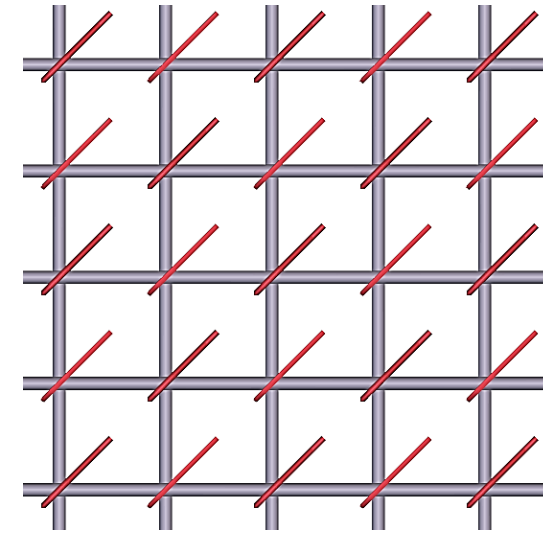
Шаг 400 x 400

$$S = 9,1 \text{ см}^2$$



Шаг 400 x 200

$$S = 14,7 \text{ см}^2$$



Шаг 200 x 200

$$S = 28,3 \text{ см}^2$$

Рисунок 8 – варианты расстановки поперечного армирования  $\text{Ø}12$  при шаге основной арматуры 200

# Справочные данные



Диаметр, мм	Расчётные площади поперечного сечения в см <sup>2</sup> при числе стержней												Масса, кг/м	Диаметр, мм
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
<b>3</b>	0.071	0.14	0.21	0.28	0.35	0.42	0.49	0.57	0.64	0.71	0.78	0.85	0.055	<b>3</b>
<b>4</b>	0.126	0.25	0.38	0.50	0.63	0.75	0.88	1.01	1.13	1.26	1.38	1.51	0.099	<b>4</b>
<b>5</b>	0.196	0.39	0.59	0.79	0.98	1.18	1.37	1.57	1.77	1.96	2.16	2.36	0.154	<b>5</b>
<b>6</b>	0.283	0.57	0.85	1.13	1.41	1.70	1.98	2.26	2.54	2.83	3.11	3.39	0.222	<b>6</b>
<b>8</b>	0.503	1.01	1.51	2.01	2.51	3.02	3.52	4.02	4.52	5.03	5.53	6.03	0.395	<b>8</b>
<b>10</b>	0.785	1.57	2.36	3.14	3.93	4.71	5.50	6.28	7.07	7.85	8.64	9.42	0.617	<b>10</b>
<b>12</b>	1.131	2.26	3.39	4.52	5.65	6.79	7.92	9.05	10.18	11.31	12.44	13.57	0.888	<b>12</b>
<b>14</b>	1.539	3.08	4.62	6.16	7.70	9.24	10.78	12.32	13.85	15.39	16.93	18.47	1.208	<b>14</b>
<b>16</b>	2.011	4.02	6.03	8.04	10.05	12.06	14.07	16.08	18.10	20.11	22.12	24.13	1.578	<b>16</b>
<b>18</b>	2.545	5.09	7.63	10.18	12.72	15.27	17.81	20.36	22.90	25.45	27.99	30.54	1.998	<b>18</b>
<b>20</b>	3.142	6.28	9.42	12.57	15.71	18.85	21.99	25.13	28.27	31.42	34.56	37.70	2.466	<b>20</b>
<b>22</b>	3.801	7.60	11.40	15.21	19.01	22.81	26.61	30.41	34.21	38.01	41.81	45.62	2.984	<b>22</b>
<b>25</b>	4.909	9.82	14.73	19.63	24.54	29.45	34.36	39.27	44.18	49.09	54.00	58.90	3.853	<b>25</b>
<b>28</b>	6.158	12.32	18.47	24.63	30.79	36.95	43.10	49.26	55.42	61.58	67.73	73.89	4.834	<b>28</b>
<b>32</b>	8.042	16.08	24.13	32.17	40.21	48.25	56.30	64.34	72.38	80.42	88.47	96.51	6.313	<b>32</b>
<b>36</b>	10.179	20.36	30.54	40.72	50.89	61.07	71.25	81.43	91.61	101.79	111.97	122.15	7.990	<b>36</b>
<b>40</b>	12.566	25.13	37.70	50.27	62.83	75.40	87.96	100.53	113.10	125.66	138.23	150.80	9.865	<b>40</b>

# Спасибо за внимание

**Кононов Дмитрий Александрович**

Руководитель направления

**06.03.2024**

