

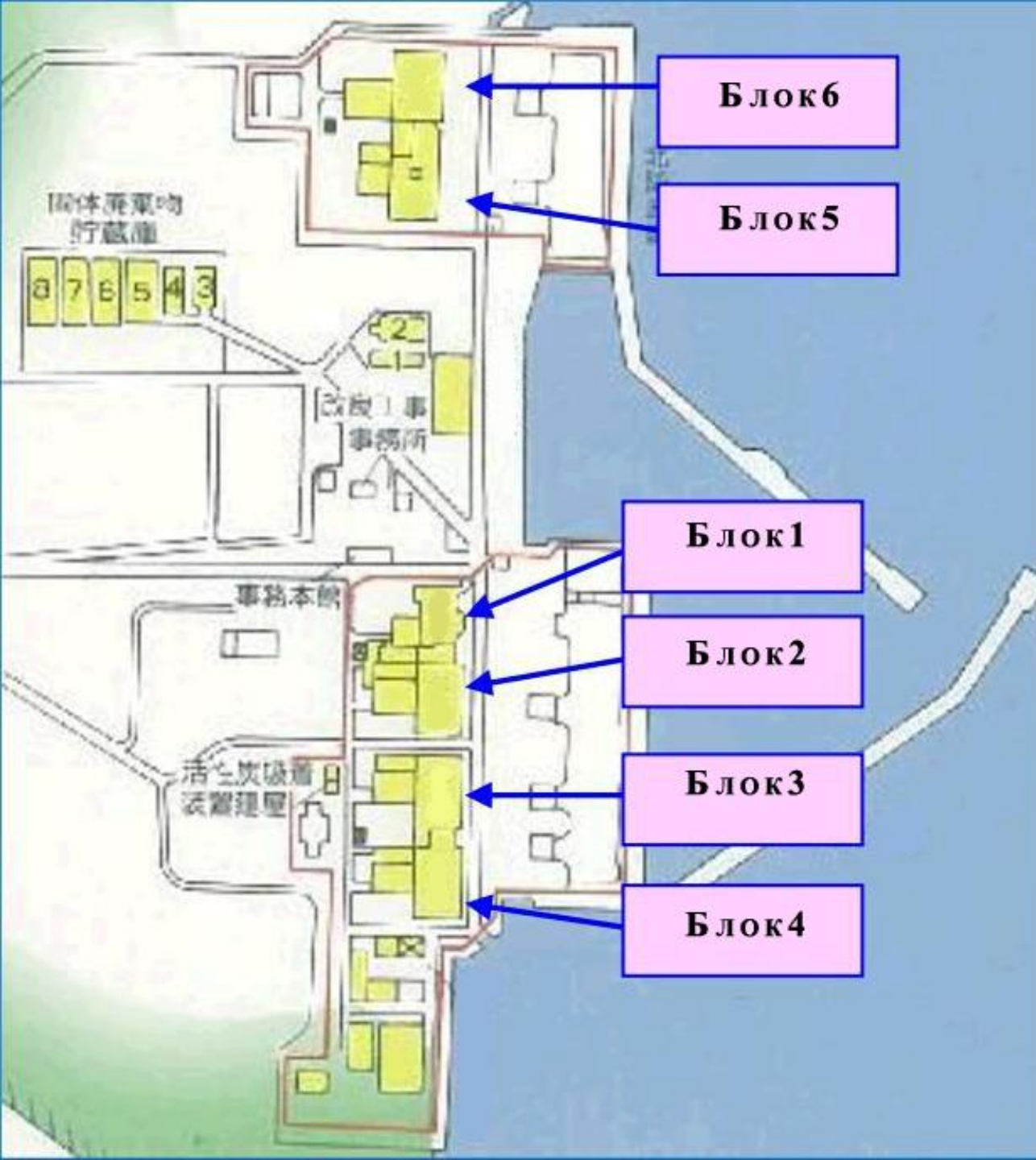
# Обзор аварии на АЭС Фукусима-1 11 марта 2011 г.



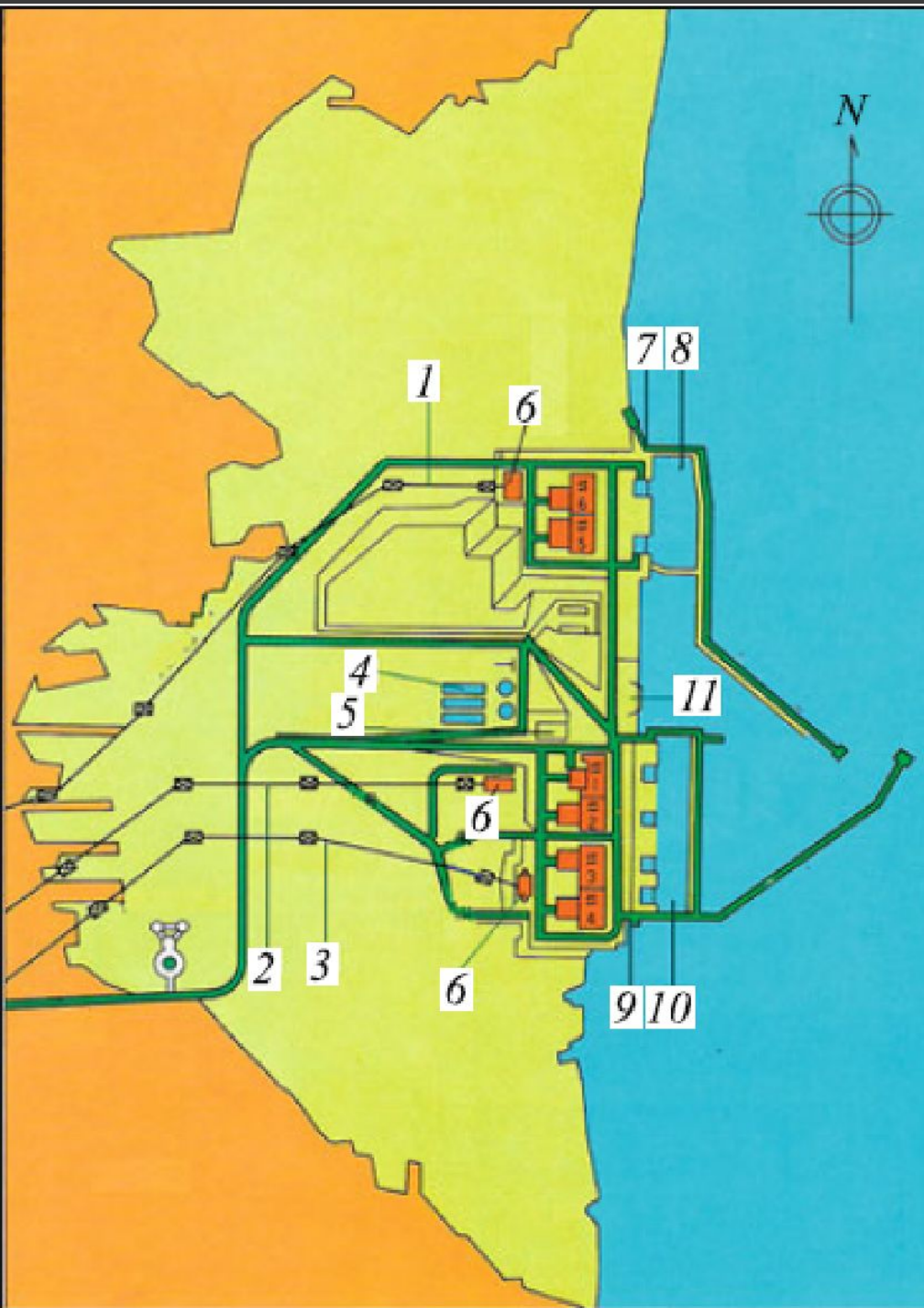
# Общий вид станции







# Схема станции



1 – ВЛ 500 кВ (2-цепная)

2 – ВЛ 275 кВ (2-цепная)

3 – ВЛ 275 кВ (2-цепная)

4 – баки необработанной  
загрязнённой воды

5 – здание обслуживания

6 – высоковольтные выключатели

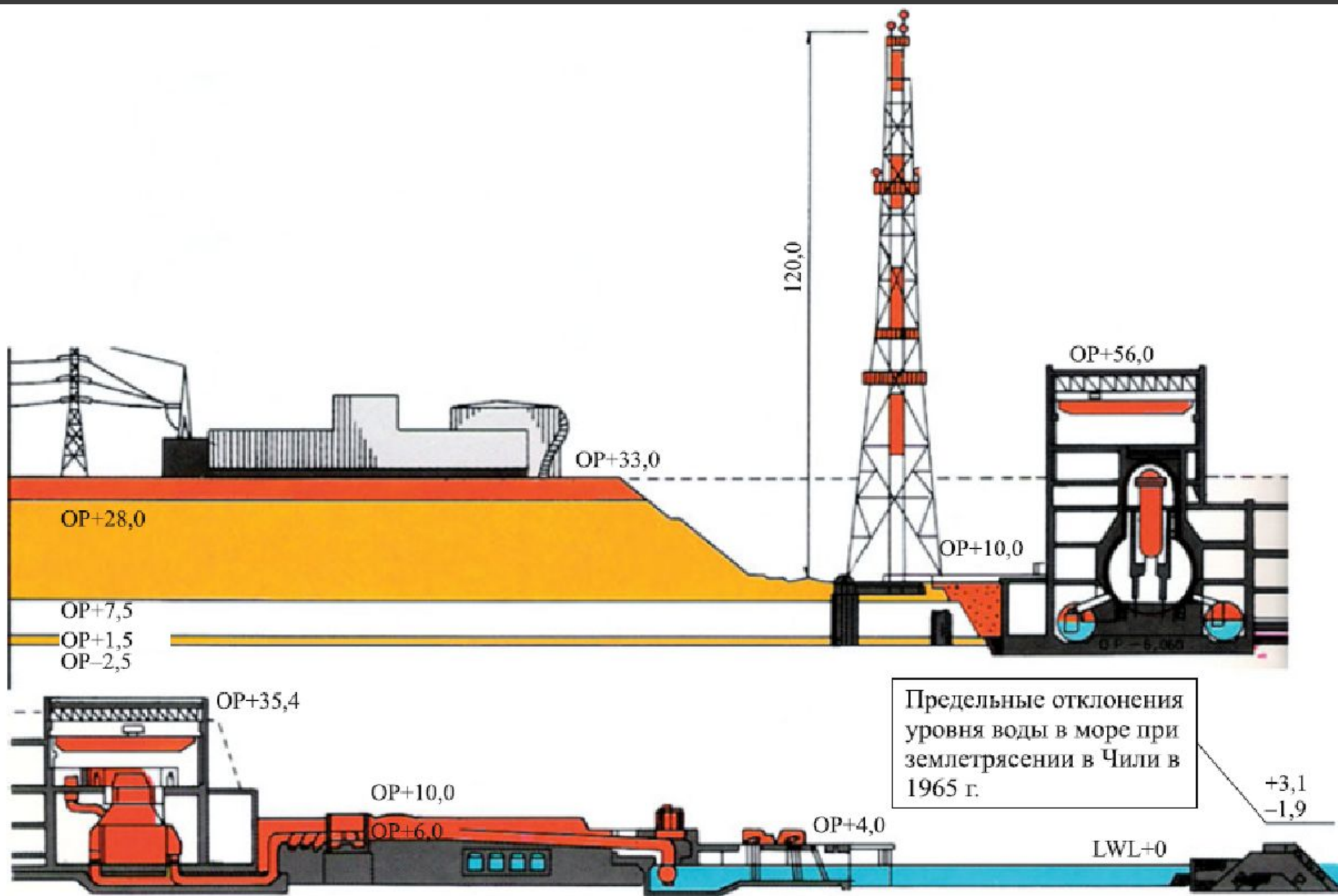
7 – сброс воды после  
конденсаторов блоков №5 и №6

8 – забор воды для  
конденсаторов блоков №5 и №6

9 – сброс воды после  
конденсаторов блоков №№1-4

10 – забор воды для  
конденсаторов блоков №№1-4

11 – причал

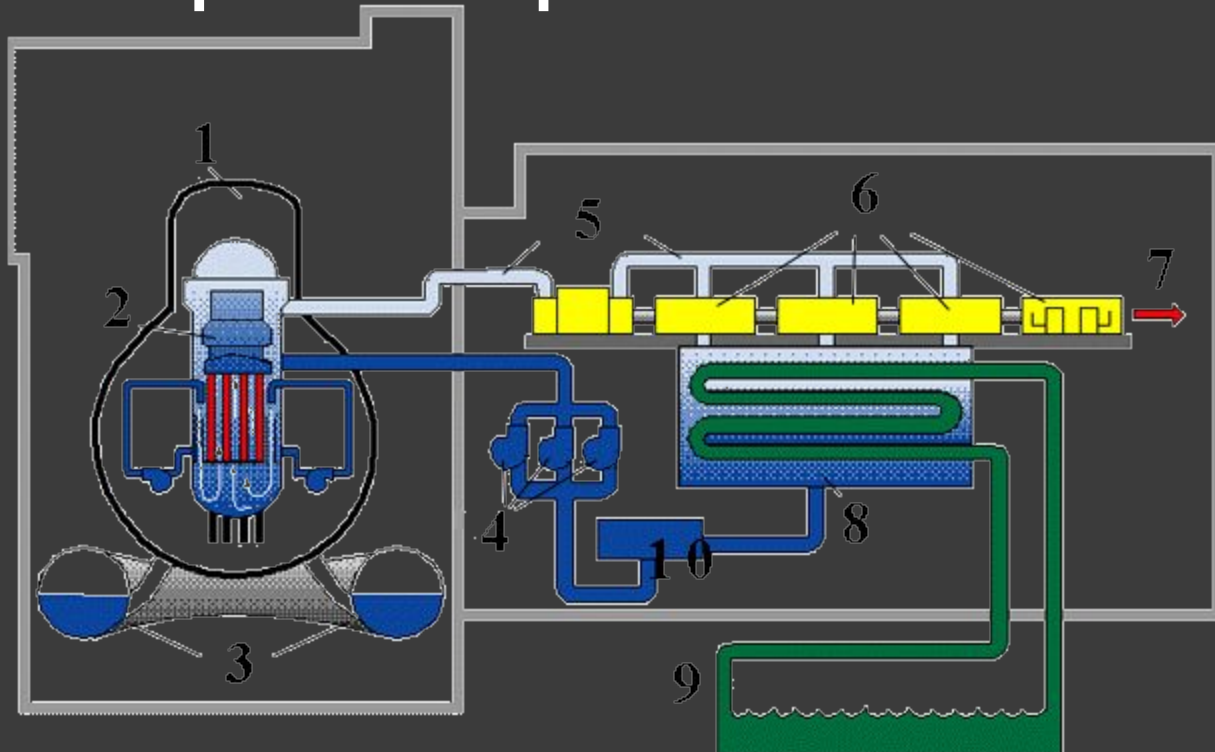


| Оборудование, показатель                                                                                                   | Номер энергоблока |                 |                 |                  |                  |                 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|------------------|------------------|-----------------|
|                                                                                                                            | 1                 | 2               | 3               | 4                | 5                | 6               |
| Электрическая мощность брутто, МВт                                                                                         | 460               | 784             | 784             | 784              | 784              | 1100            |
| Электрическая мощность нетто, МВт                                                                                          | 439               | 760             | 760             | 760              | 760              | 1067            |
| Месяц, год:<br><br>начала строительства<br><br><br><br><br>энергопуска<br><br><br><br><br>начала коммерческой эксплуатации | Сентябрь<br>1967  | Май<br>1969     | Октябрь<br>1970 | Сентябрь<br>1972 | Декабрь<br>1971  | Май<br>1973     |
|                                                                                                                            | Ноябрь<br>1970    | Декабрь<br>1973 | Октябрь<br>1974 | Февраль<br>1978  | Сентябрь<br>1977 | Май<br>1979     |
|                                                                                                                            | Март<br>1971      | Июль<br>1974    | Март<br>1976    | Октябрь<br>1978  | Апрель<br>1978   | Октябрь<br>1979 |
| Тип реактора                                                                                                               | BWR               | BWR             | BWR             | BWR              | BWR              | BWR             |
| Тип защитной оболочки                                                                                                      | Mark-I            | Mark-I          | Mark-I          | Mark-I           | Mark-I           | Mark-II         |
| Доля национальных поставок, %                                                                                              | 56                | 53              | 91              | 91               | 93               | 63              |
| Генеральный подрядчик (поставщик)                                                                                          | GE                | GE,<br>Toshiba  | Toshiba         | Hitachi          | Toshiba          | GE,<br>Toshiba  |

| Оборудование, показатель            | Номер энергоблока |      |      |      |      |              |
|-------------------------------------|-------------------|------|------|------|------|--------------|
|                                     | 1                 | 2    | 3    | 4    | 5    | 6            |
| Реактор                             |                   |      |      |      |      |              |
| Мощность, МВт                       | 1380              | 2381 | 2381 | 2381 | 2381 | 3293         |
| Число топливных сборок (ТВС), шт.   | 400               | 548  | 548  | 548  | 548  | 764          |
| Длина ТВС, м                        | 4,35              | 4,47 | 4,47 | 4,47 | 4,47 | 4,47         |
| Число приводов стержней защиты, шт. | 97                | 137  | 137  | 137  | 137  | 185          |
| Корпус реактора:                    |                   |      |      |      |      |              |
| диаметр внутренний, м               | 4,8               | 5,6  | 5,6  | 5,6  | 5,6  | 6,4          |
| высота, м                           | 20                | 22   | 22   | 22   | 22   | 23           |
| масса общая, т                      | 440               | 500  | 750  | 500  | 500  | 750          |
| Корпус первичного контейнмента:     |                   |      |      |      |      |              |
| высота, м                           | 32                | 33   | 33   | 34   | 34   | 48           |
| диаметр цилиндрической части, м     | 10                | 11   | 11   | 11   | 11   | 11<br>(верх) |
| диаметр сферической части, м        | 18                | 20   | 20   | 20   | 20   | 25<br>(низ)  |
| запас воды в барботёре, т           | 1750              | 2980 | 2980 | 2980 | 2980 | 3200         |

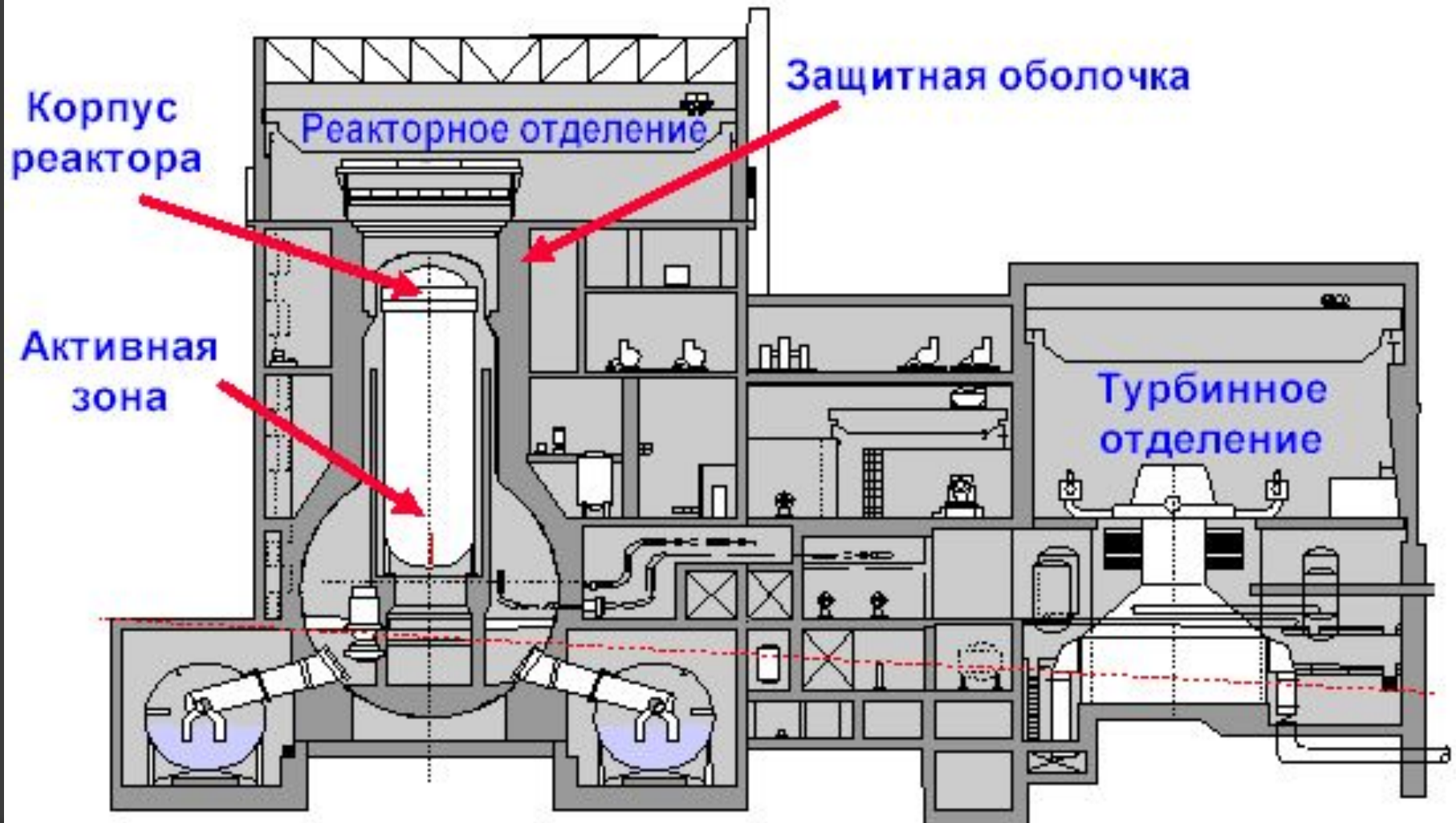
| Оборудование, показатель                   | Номер энергоблока |      |      |      |      |      |
|--------------------------------------------|-------------------|------|------|------|------|------|
|                                            | 1                 | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    |
| <b>Топливо</b><br>Тип                      | Диоксид урана     |      |      |      |      |      |
| Количество урана, т                        | 69                | 94   | 94   | 94   | 94   | 132  |
| <b>Турбина</b><br>Частота вращения, об/мин | 1500              | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 | 1500 |
| Температура пара, °С                       | 282               | 282  | 282  | 282  | 282  | 282  |
| Давление пара, кгс/см <sup>2</sup>         | 66,8              | 66,8 | 66,8 | 66,8 | 66,8 | 66,8 |
|                                            |                   |      |      |      |      |      |

# Системная

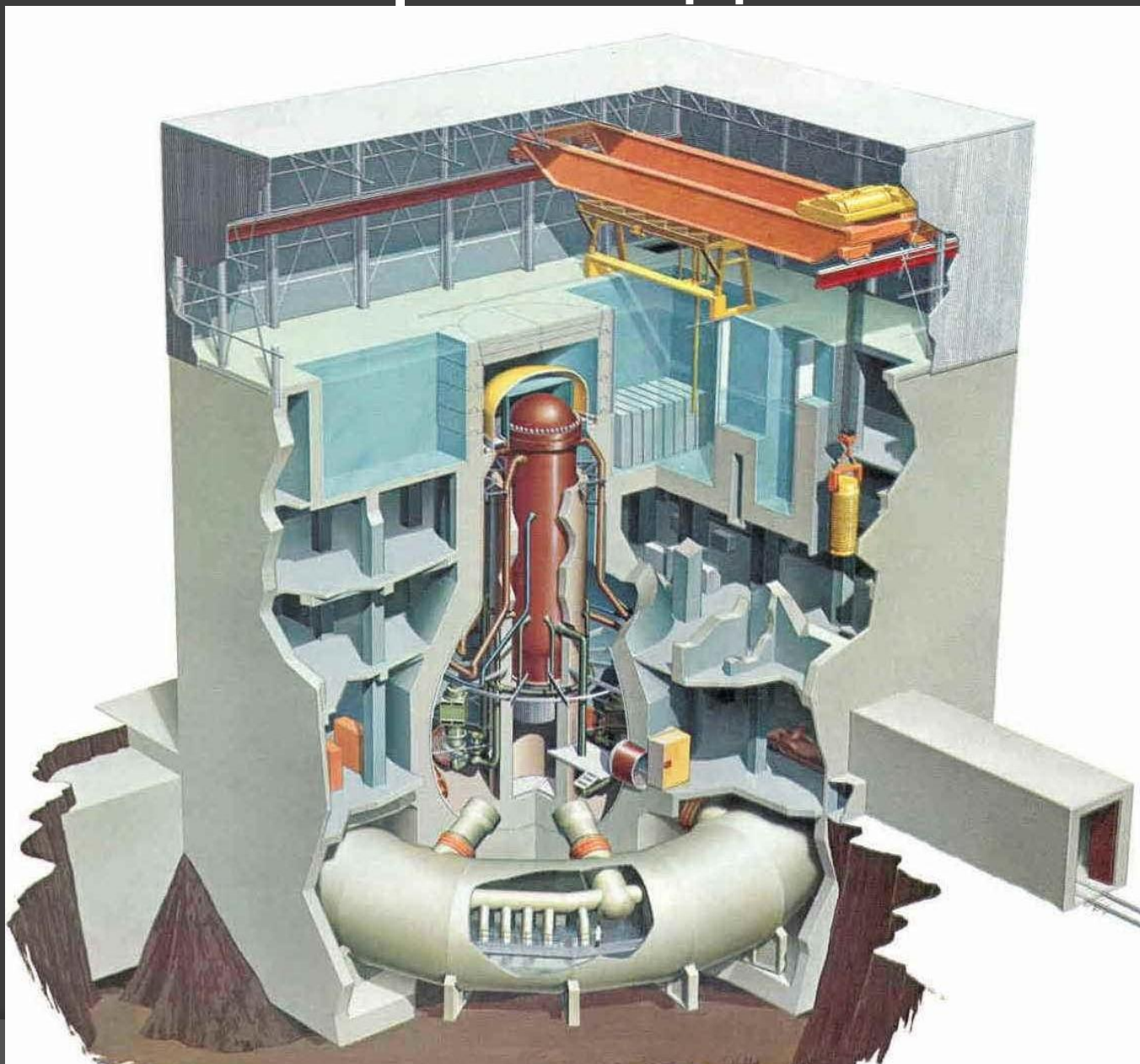


1-первичная защитная оболочка, 2-реактор, 3-барботёр в  
форме тора, 4-питательные насосы, 5-паропровод к турбине,  
6-турбина и генератор, 7-токопровод к генераторному  
выключателю, 8-конденсатор пара, 9-океан, 10-подогреватели

# Главный корпус АЭС



# Реакторное здание



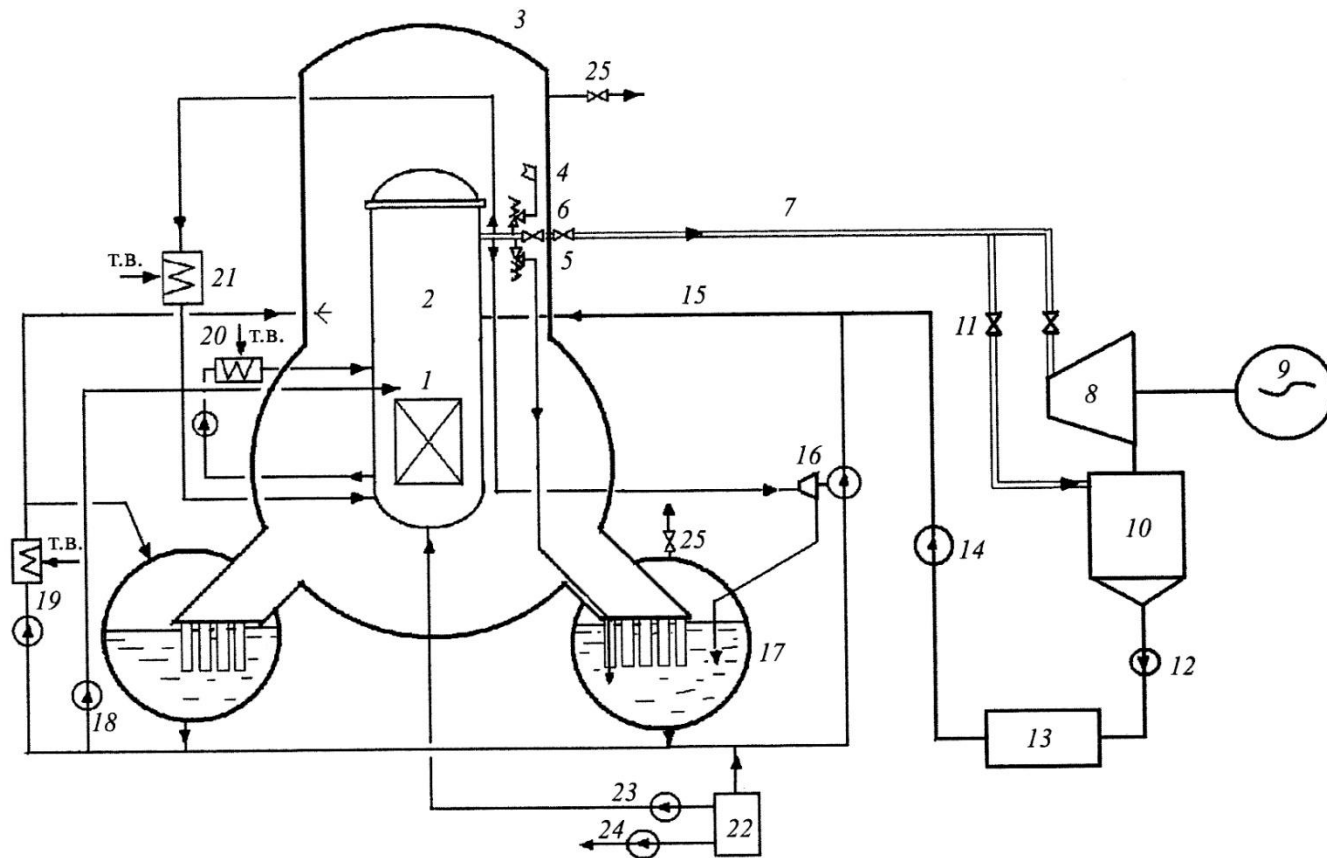
# Модель реактора с защитной оболочкой Mark-I



- Защитная оболочка типа Mark-I на одной из строящихся АЭС в США.
- Защитные оболочки блоков №1-4 АЭС Фукусима-1 несколько больше американских прототипов.



# Схема блока №1



**Рис. 10. Схема блока № 1:**

1 – активная зона; 2 – реактор; 3 – контейнмент (“сухой” объём); 4 – предохранительные клапаны реактора (SV); 5 – главные паровые предохранительные клапаны (MSSRV); 6 – изолирующие клапаны; 7 – главный паропровод; 8 – турбина; 9 – генератор; 10 – конденсатор турбины; 11 – байпас турбины (БРОУ); 12 – конденсатный насос; 13 – регенеративный подогреватель конденсата; 14 – питательный насос; 15 – питательный трубопровод; 16 – система подачи теплоносителя высокого давления (НРСИ); 17 – барботёр (“мокрый” объём контейнмента); 18 – спринклерная система охлаждения активной зоны (CS); 19 – система охлаждения контейнмента (CCS); 20 – система охлаждения остановленного реактора (SHC); 21 – конденсатор изоляции (IC); 22 – бак запаса конденсата; 23 – насосы гидравлической системы защиты и управления реактором; 24 – насосы системы очистки конденсата; 25 – сброс парогазовой среды; т.в. – техническая вода (морская)

позиции 1 – 17 – см. рис. 10; 18 – спринклерная система охлаждения активной зоны (CS); 19 – насосы гидравлической системы защиты и управления реактором; 20 – насосы системы очистки конденсата; 21 – бак запаса конденсата; 22 – система охлаждения изолированной активной зоны реактора (RCIC); 23 – система подачи теплоносителя низкого давления (LPCI); 24 – система отвода остаточного тепла (RHR); 25, 26 – сброс парогазовой среды; т.в. – техническая вода (морская)

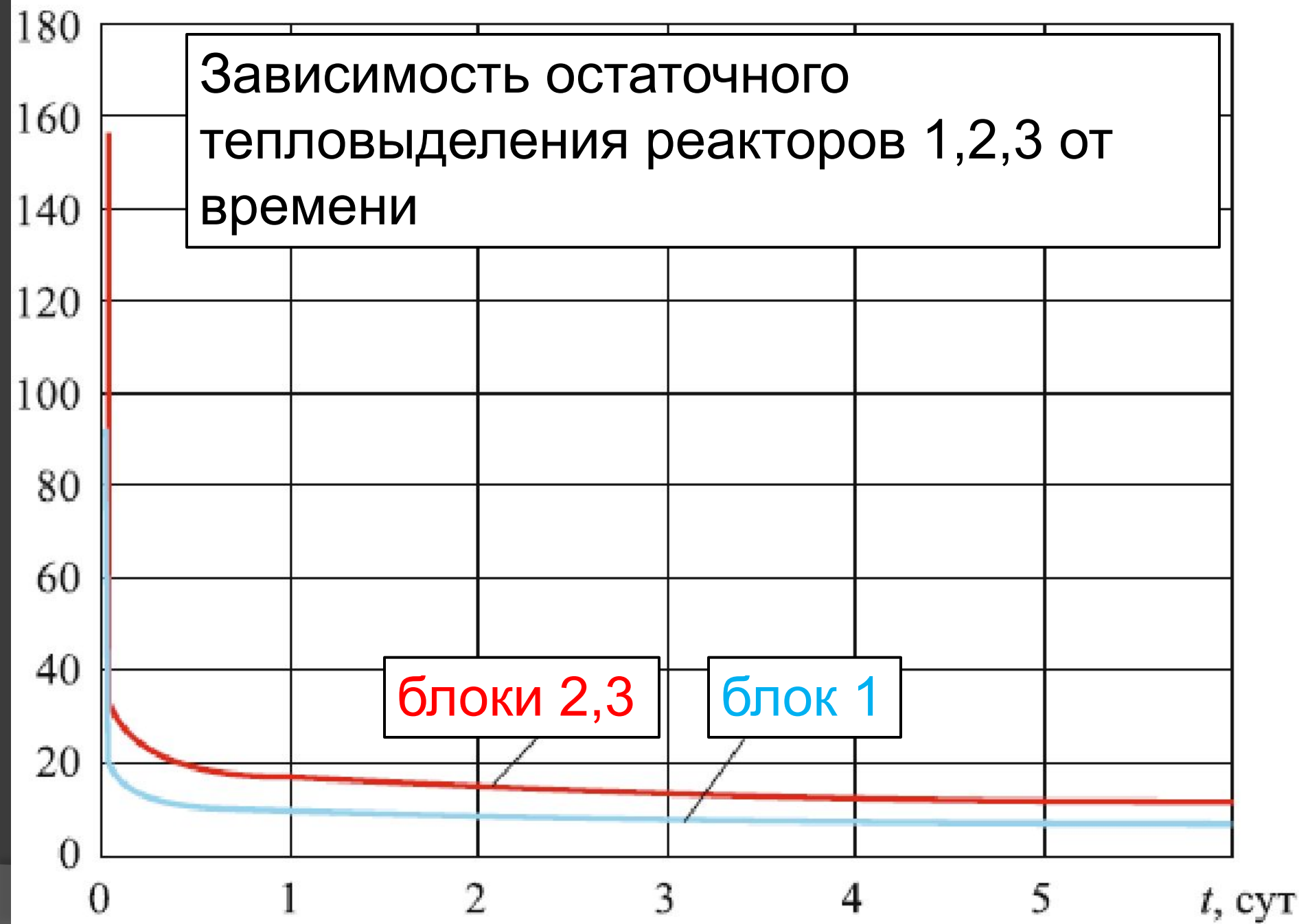
$N$ , МВт

Зависимость остаточного  
тепловыделения реакторов 1,2,3 от  
времени

блоки 2,3

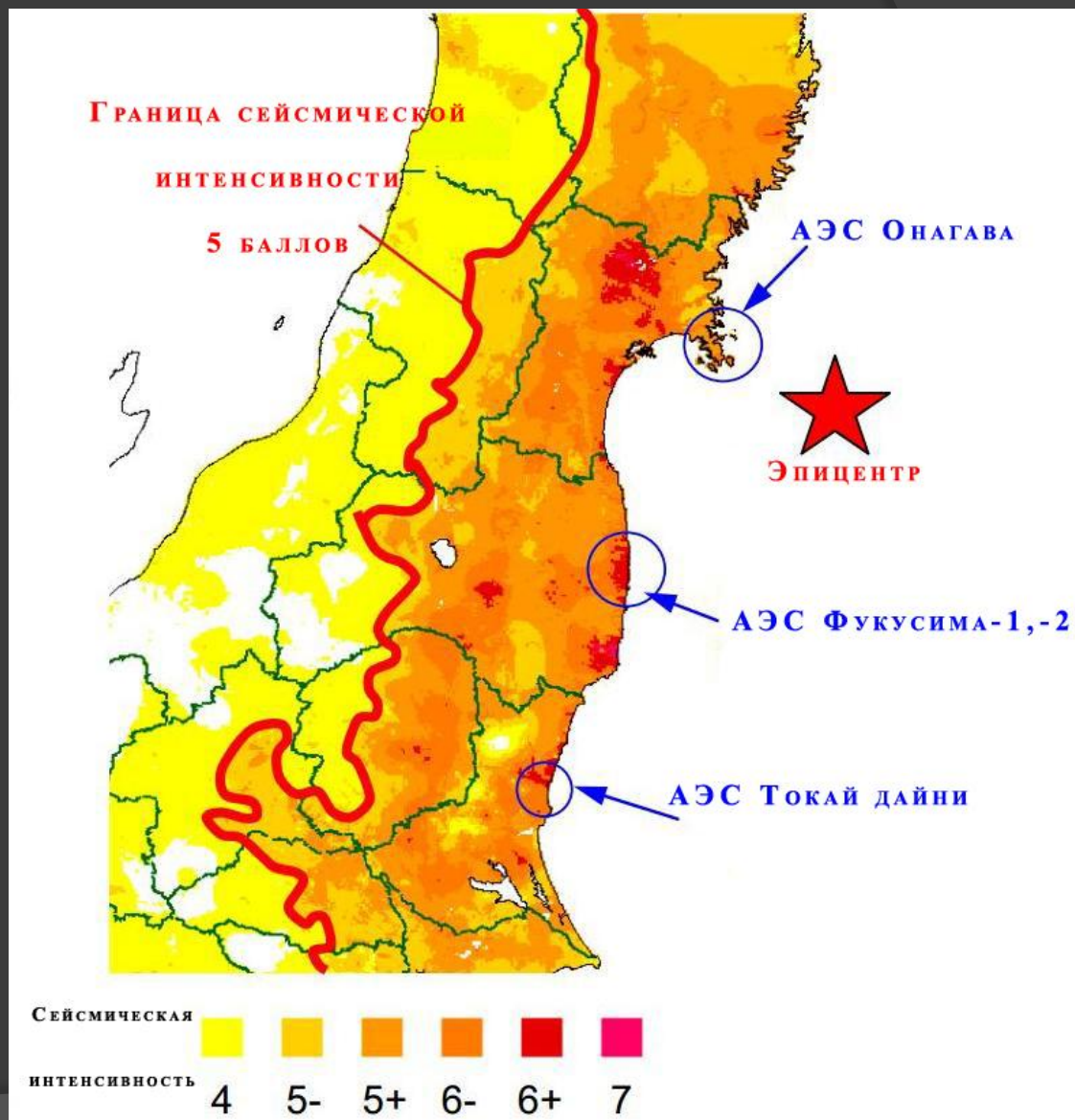
блок 1

$t$ , сут



# Землетрясение

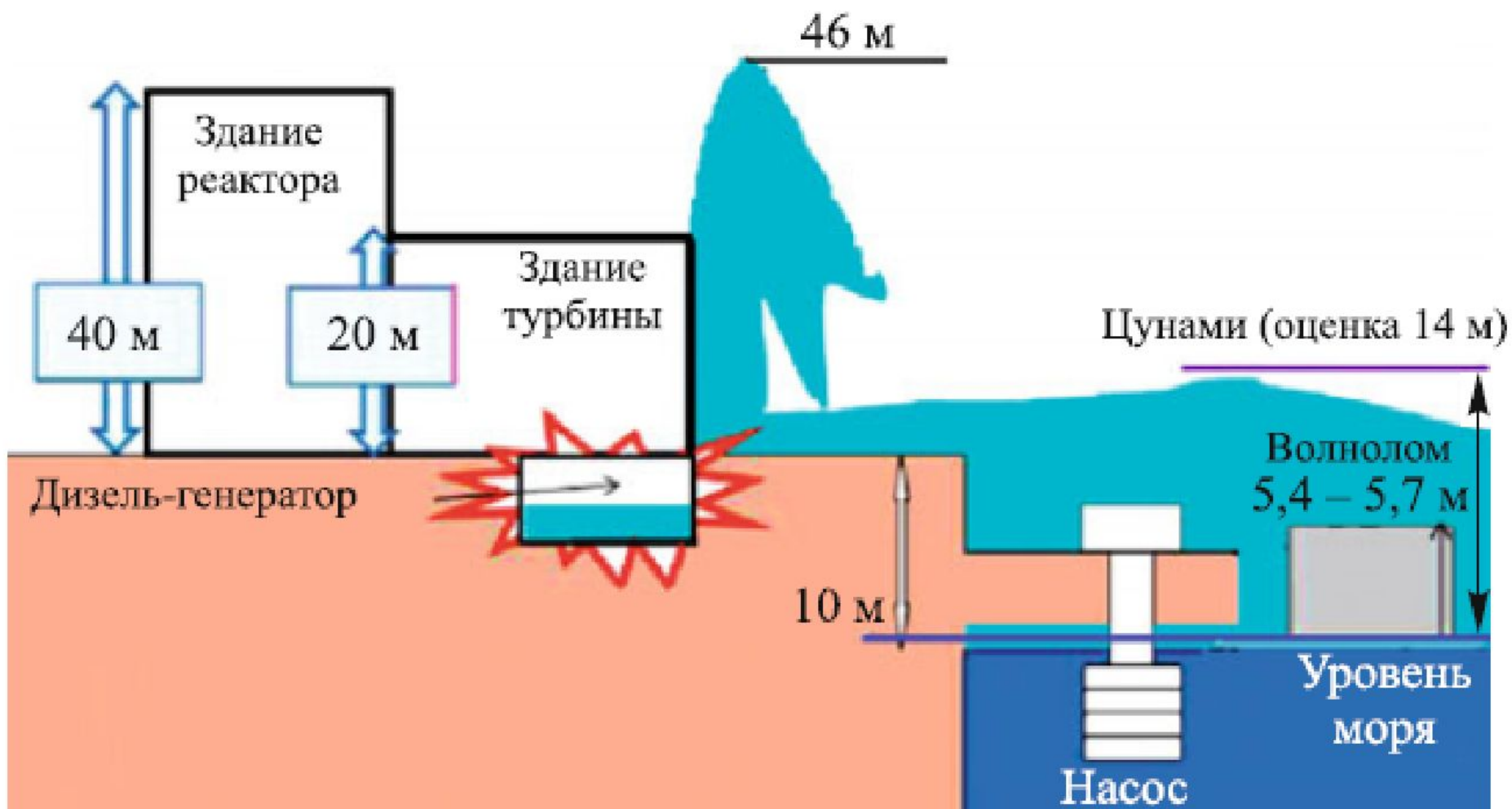
- Землетрясение 11 марта 2011г. в 14ч 46мин по местному времени
- Интенсивность подземных толчков вблизи АЭС Фукусима-1 составляла более 5 баллов



# Максимальные ускорения, зафиксированные в реакторных зданиях АЭС

| Номер блока | Максимальное ускорение, Гал (1Гал→1см/с <sup>2</sup> ) |     |              |                       |     |              |
|-------------|--------------------------------------------------------|-----|--------------|-----------------------|-----|--------------|
|             | наблюдаемое                                            |     |              | Стандартное проектное |     |              |
|             | С-Ю                                                    | В-З | вертикальное | С-Ю                   | В-З | вертикальное |
| 1           | 460                                                    | 447 | 258          | 487                   | 489 | 412          |
| 2           | 348                                                    | 550 | 302          | 441                   | 438 | 420          |
| 3           | 322                                                    | 507 | 231          | 449                   | 441 | 429          |
| 4           | 281                                                    | 319 | 200          | 447                   | 445 | 422          |
| 5           | 311                                                    | 548 | 256          | 452                   | 452 | 427          |
| 6           | 298                                                    | 444 | 244          | 445                   | 448 | 415          |

# Действие цунами



a)



11.03.2011 15:42

6)



11.03.2011 15:43

6)



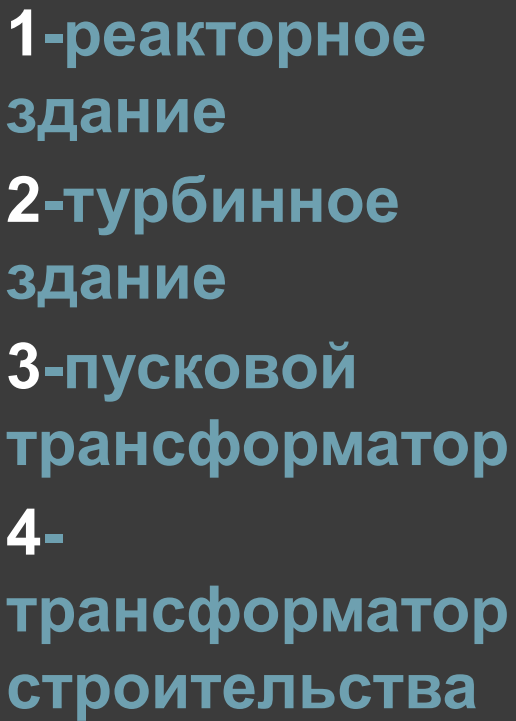
11.03.2011 15:46

2)



11.03.2011 15:57

- 1-реакторное здание
- 2-турбинное здание
- 3-пусковой трансформатор
- 4- трансформатор строительства



# Повреждение опоры



# Повреждение выключателя ВЛ Окита-1



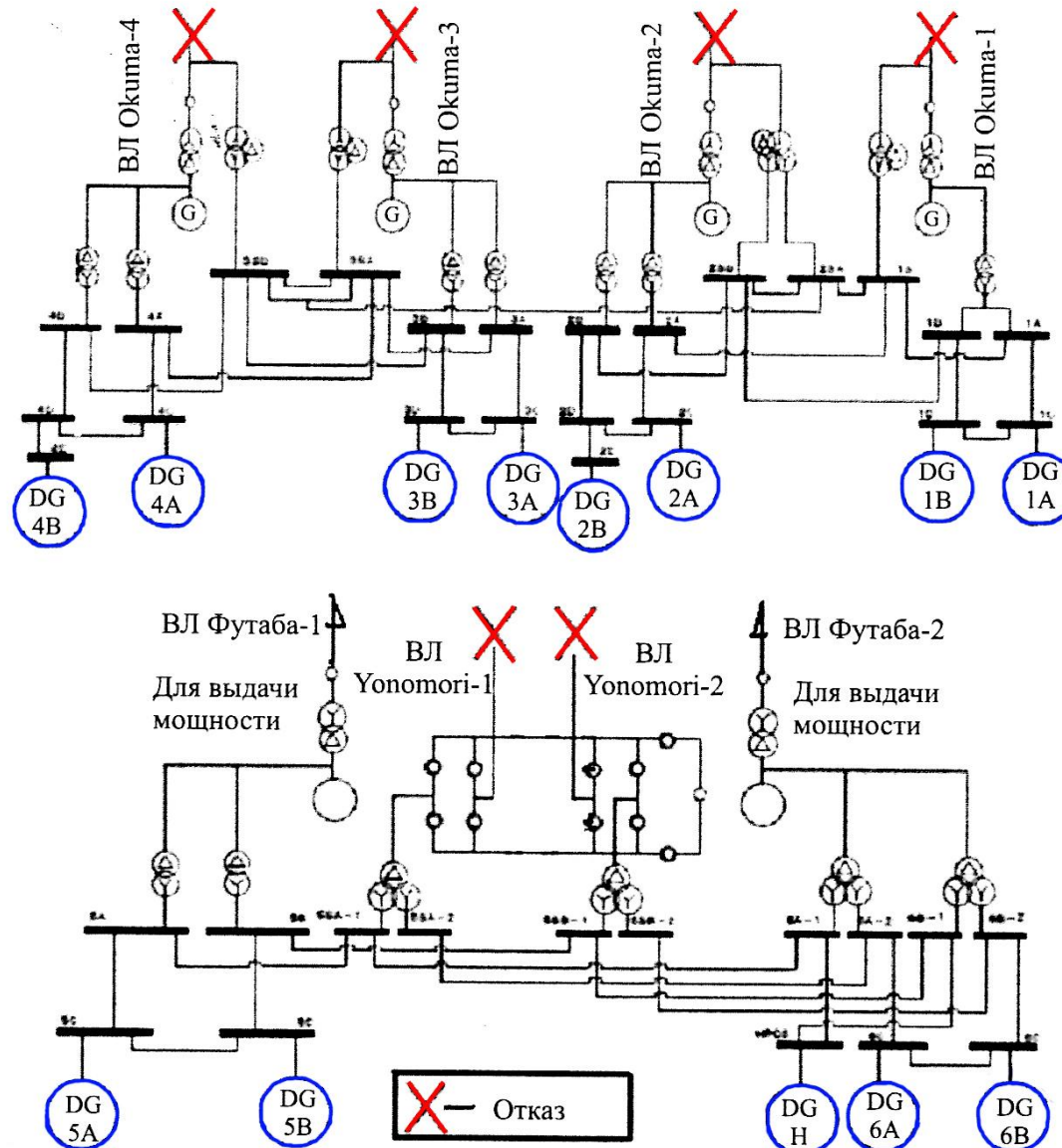
# Повреждение выключателя ВЛ Окита-2

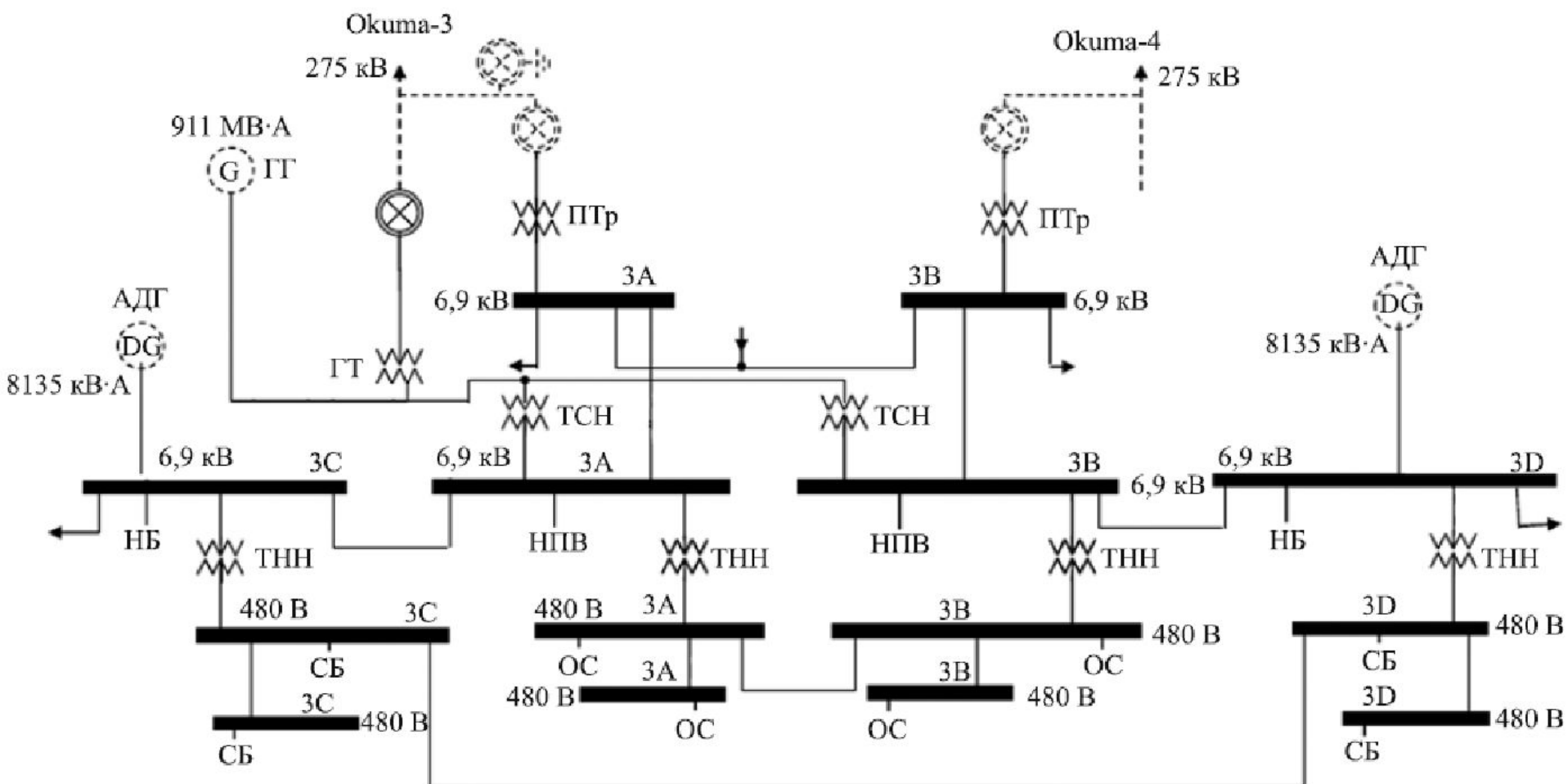


# Повреждение разъединителя ВЛ Окита-3

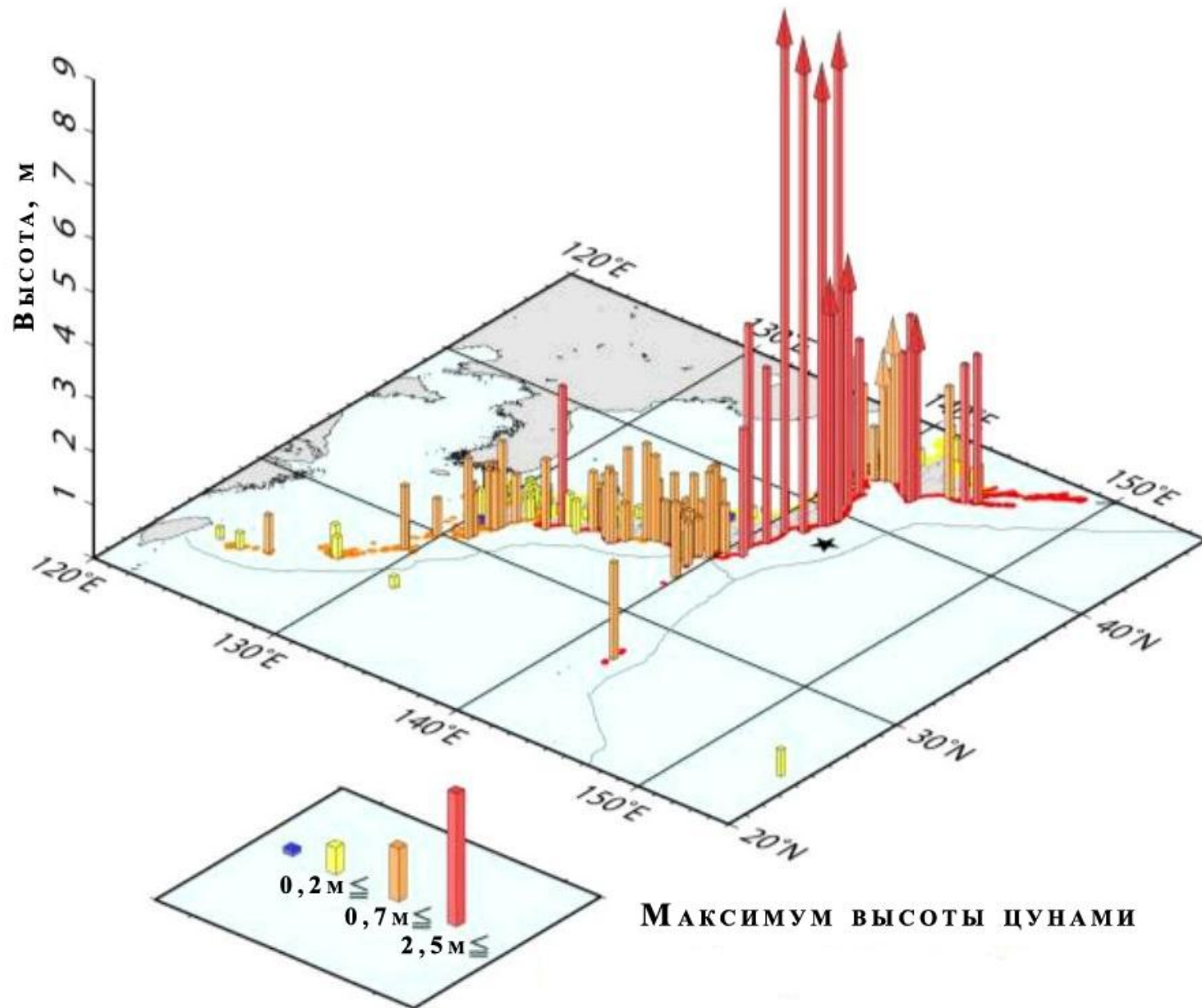


# Схема аварийного электроснабжения АЭС Фукусима-1





# Карта зафиксированных высот цунами вдоль Восточного побережья Японии





**Волном высотой 10 м**

На фотографии видно, как волна цунами преодолевает волном высотой 10м.

# Затопление АЭС

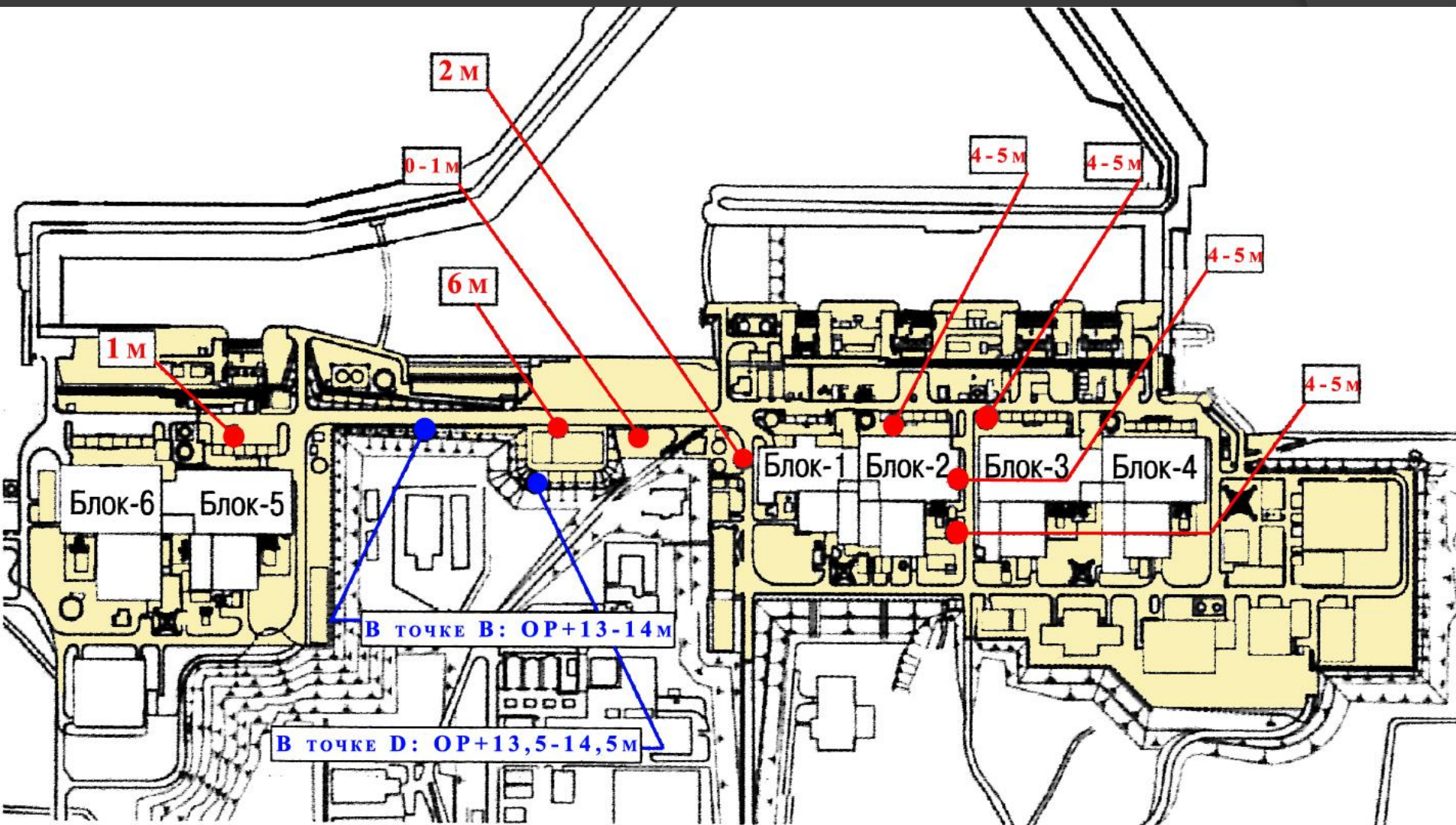
До прихода волны цунами



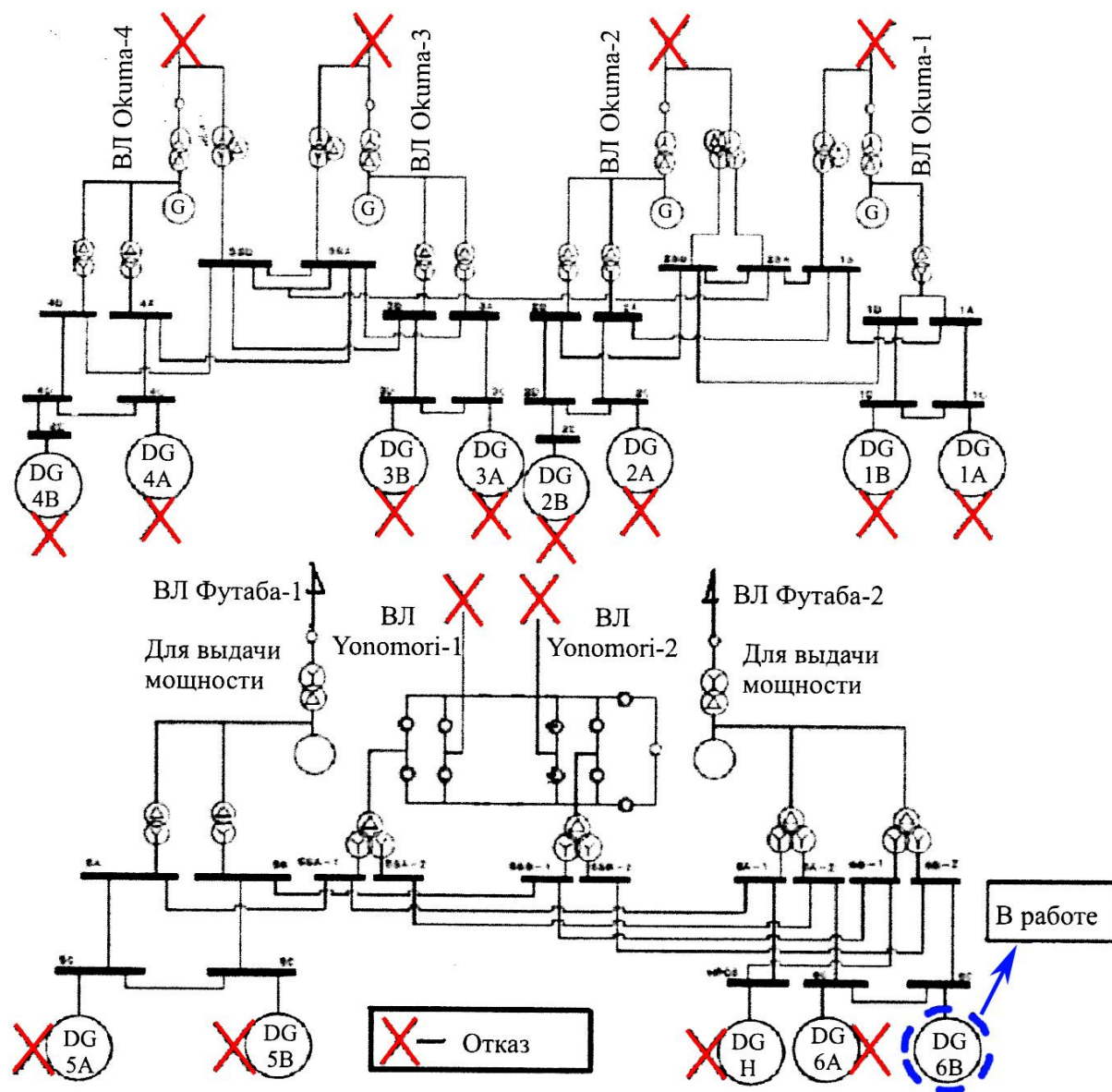
УРОВЕНЬ ЗЕМЛИ +12м



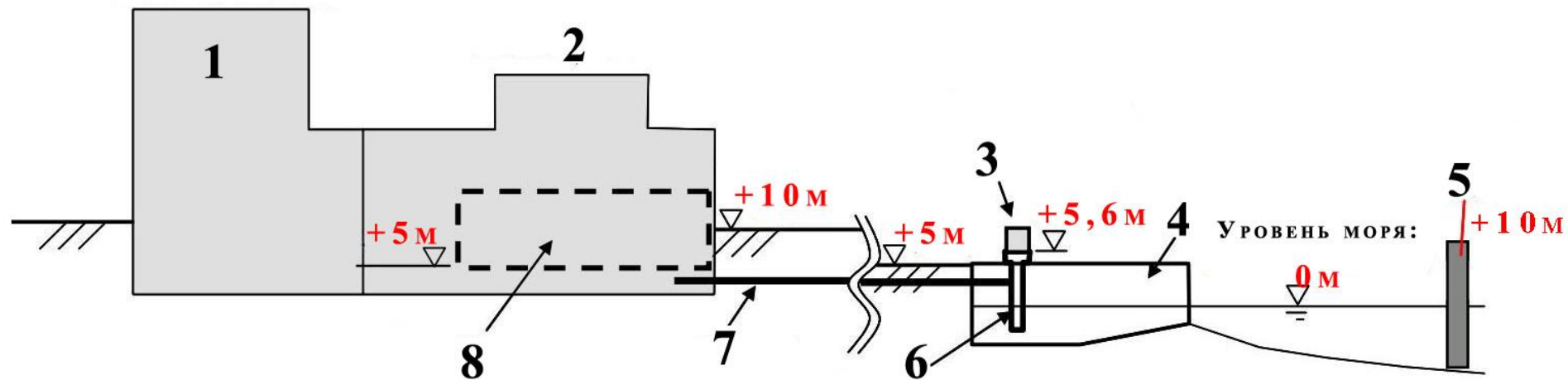
# Площадь затопления АЭС и высота подъёма воды



# Схема аварийного электроснабжения АЭС Фукусима-1



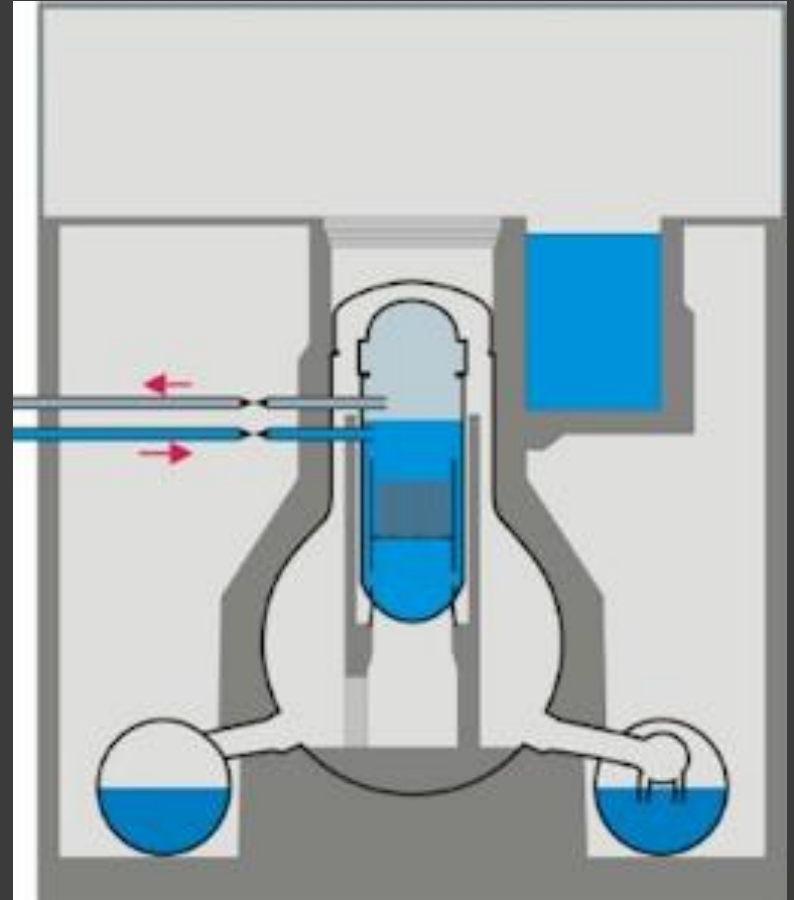
# Расположение оборудования блока №1



- 1-здание реактора; 2-здание турбины;
- 3-электродвигатель насоса; 4-водоприёмник;
- 5-волнолом; 6-насосы морской воды;
- 7-трубопровод морской воды;
- 8-помещение дизель-генератора

# Развитие аварии на блоках №1, 2, 3

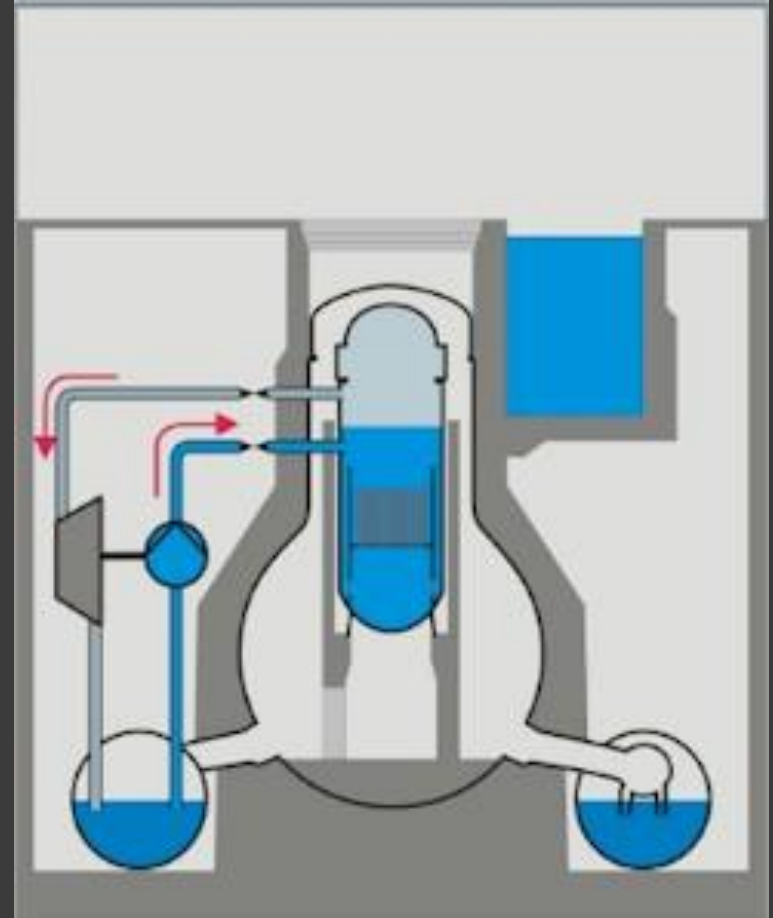
После заглушки реакторов отвод остаточного тепла из активной зоны осуществлялся за счёт запустившихся аварийных дизель-генераторов.



# Развитие аварии на блоках N°1, 2, 3

Пар из реактора крутит турбопривод насоса, а затем поступает в барботёр, где конденсируется.

Вода из барботёра закачивается в активную зону турбонасосом. Отвода тепла при этом нет.



# Развитие аварии на блоках N°1, 2, 3

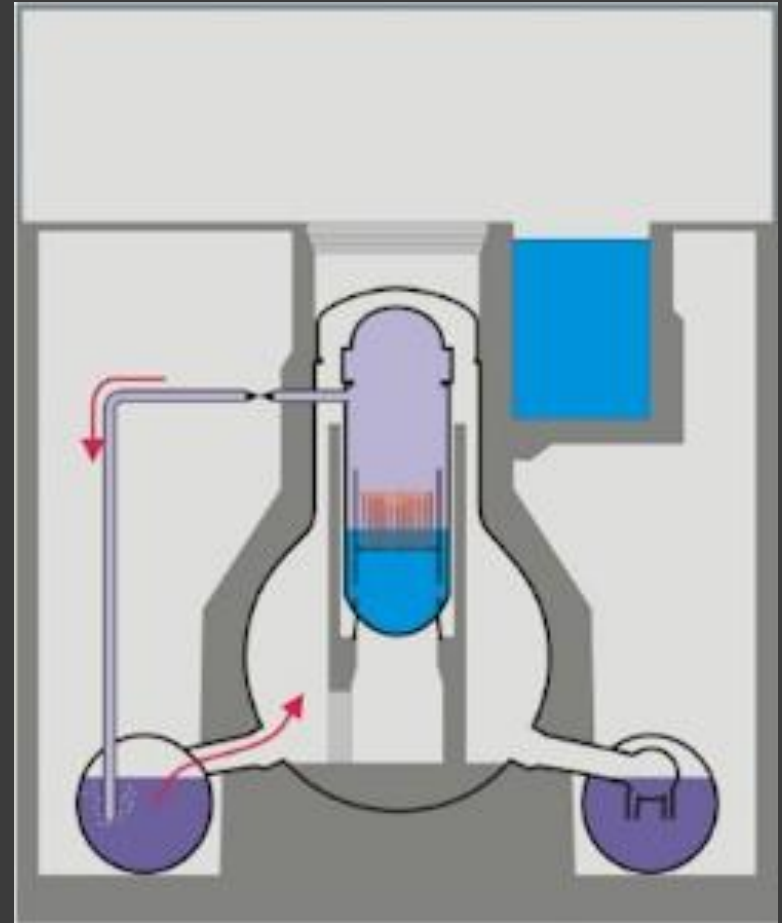
Давление в защитной оболочке растёт.

Уровень воды в реакторе падает.

Начинается оголение активной зоны и подъём температуры топлива, а далее его плавление.

Плавящееся топливо сползает в нижнюю часть корпуса реактора.

Корпус повреждён.

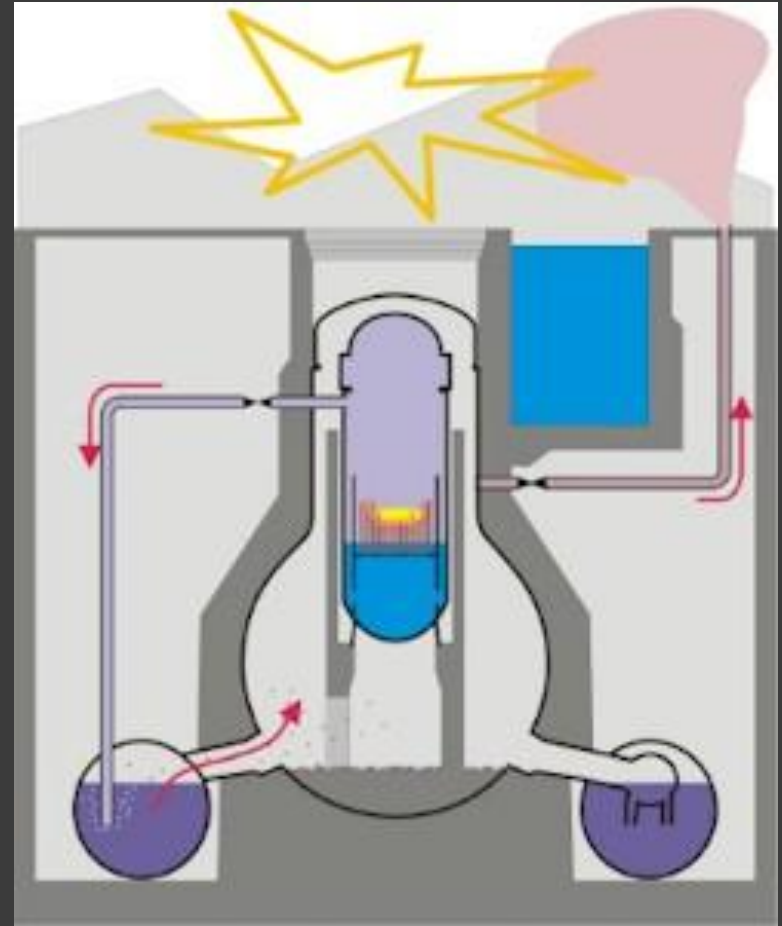


# Развитие аварии на блоках №1, 3

Для предотвращения разрушения контейнмента вручную был на 25% открыт моторный клапан сброса парогазовой смеси из защитной оболочки в вентиляционную трубу, а также клапан для сброса газов из барботёра.

Давления в защитной оболочке снижается.

Затем происходит взрыв в верхней части реактора.



- Блок №1 после взрыва
- Взрыв произошёл 12 марта в 15ч 36мин по местному времени

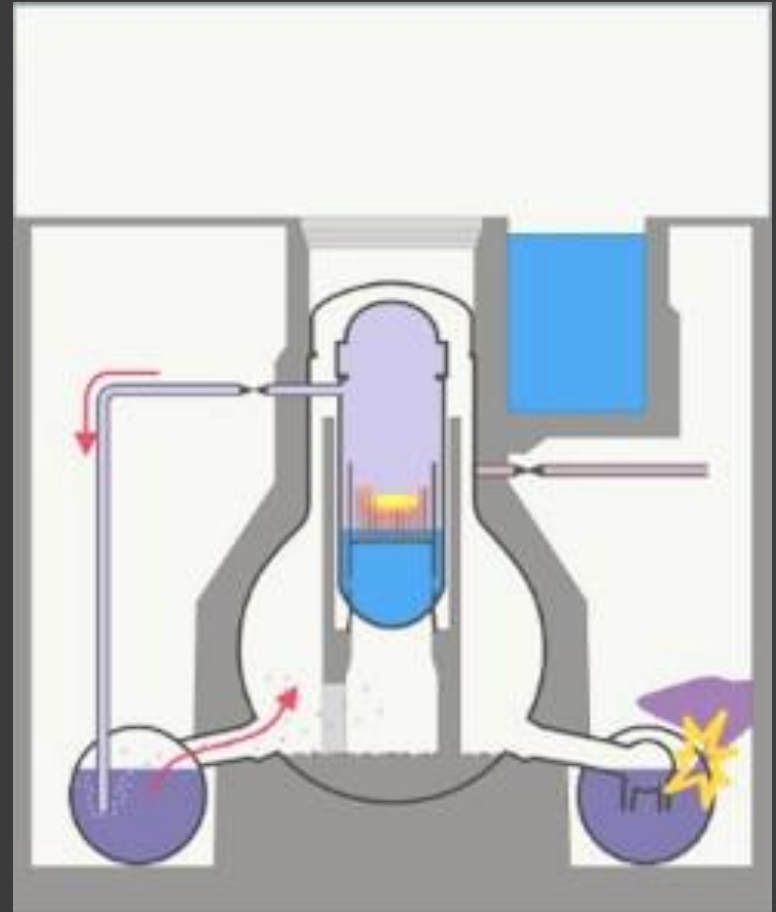


- Блок №3 после взрыва
- Взрыв произошёл 14 марта в 11ч 01мин по местному времени



# Развитие аварии на блоке N°2

Взрыв на 2м блоке по-  
видимому произошёл в  
барботёре.



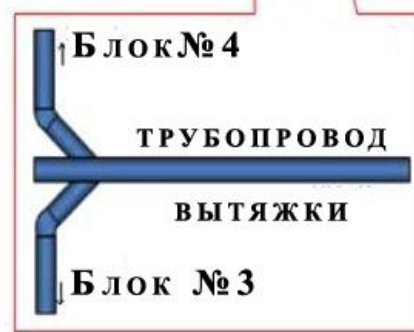
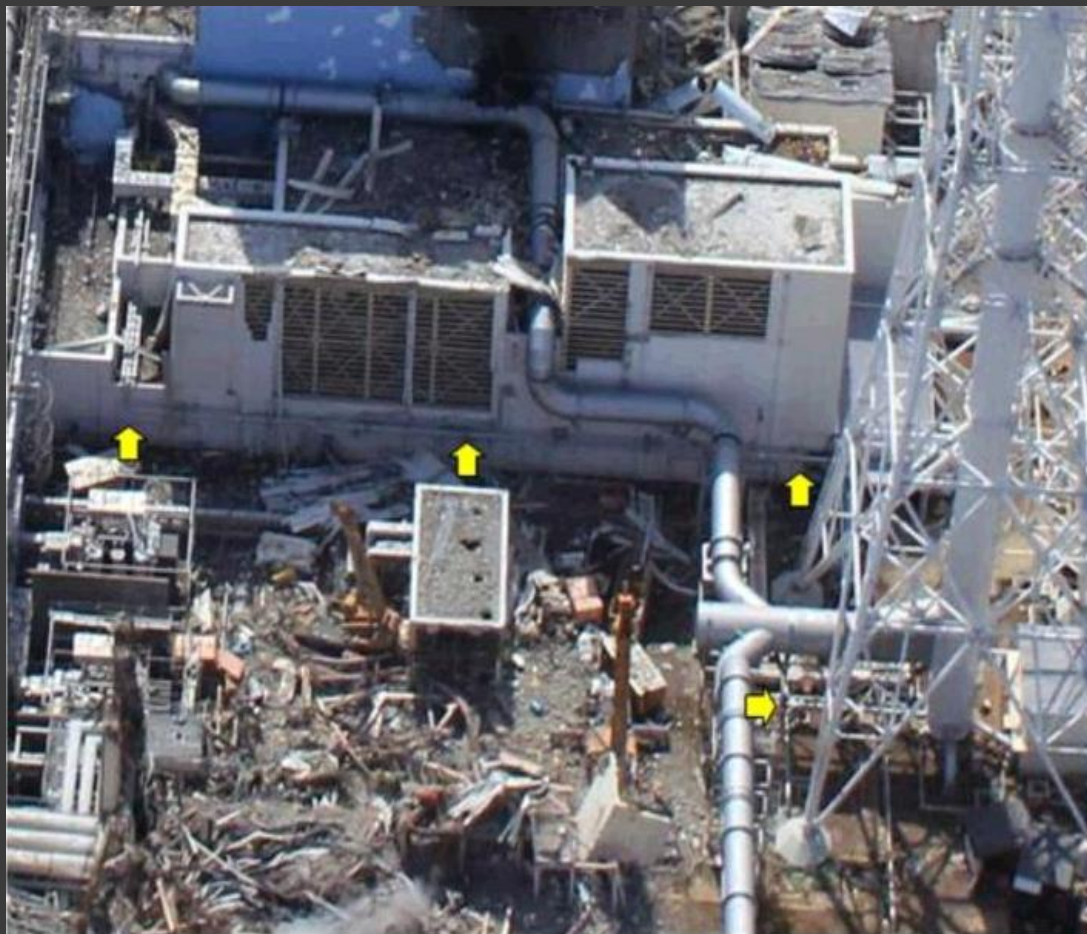
## Блок №2 после взрыва

Взрыв произошёл 15 марта в 06ч 00мин по местному времени

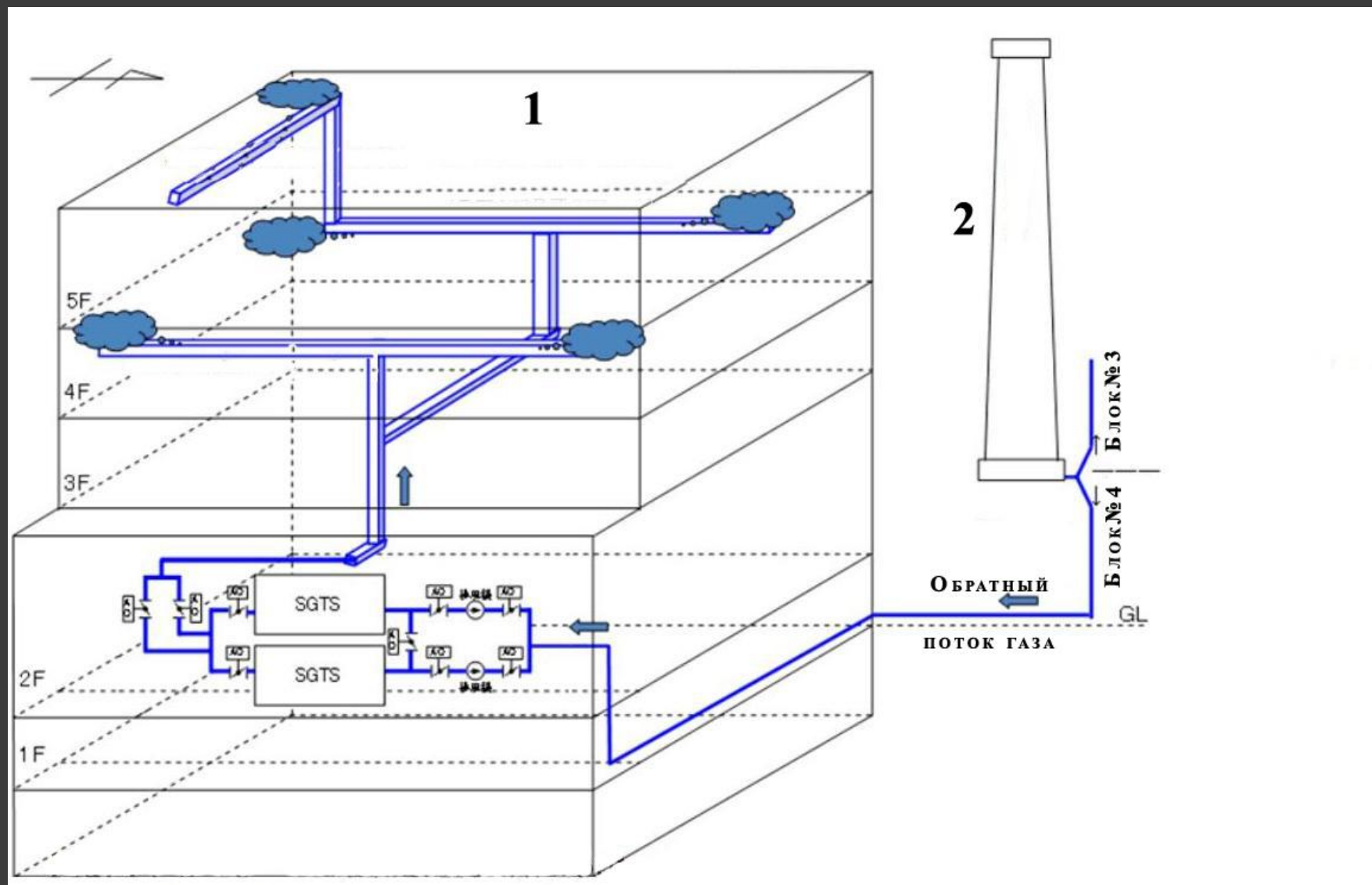


Видимые повреждение реакторного здания не наблюдаются, но они имеются на крыше здания переработки отходов, которое соседствует со зданием реактора

# Вытяжные вентиляционные короба блоков №3 и 4



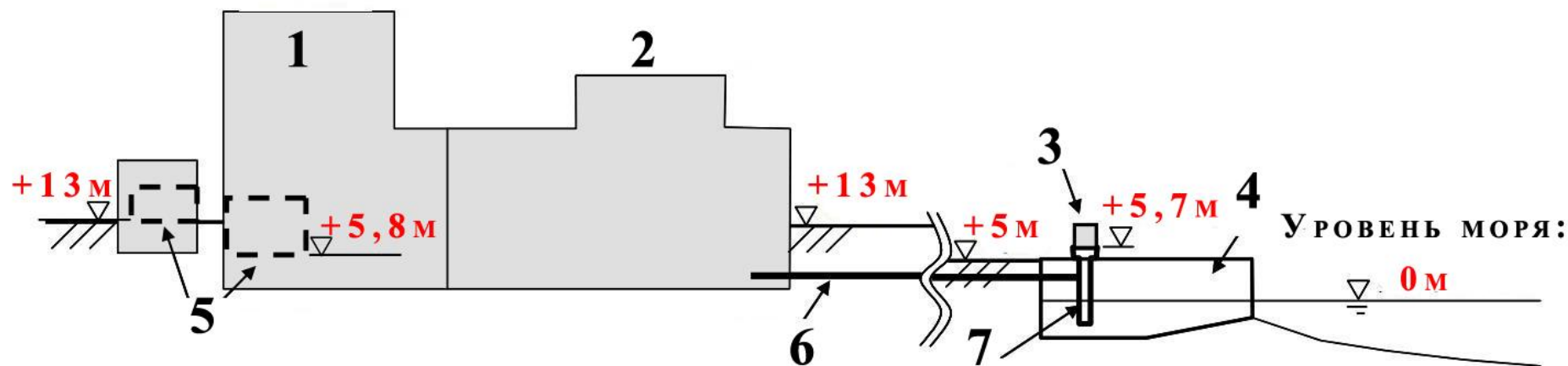
# Схема вентиляции реакторного здания блока N°4



- Блок №4 после взрыва
- Взрыв произошёл 15марта в 06ч 00мин по местному времени



# Расположение оборудования блока №6

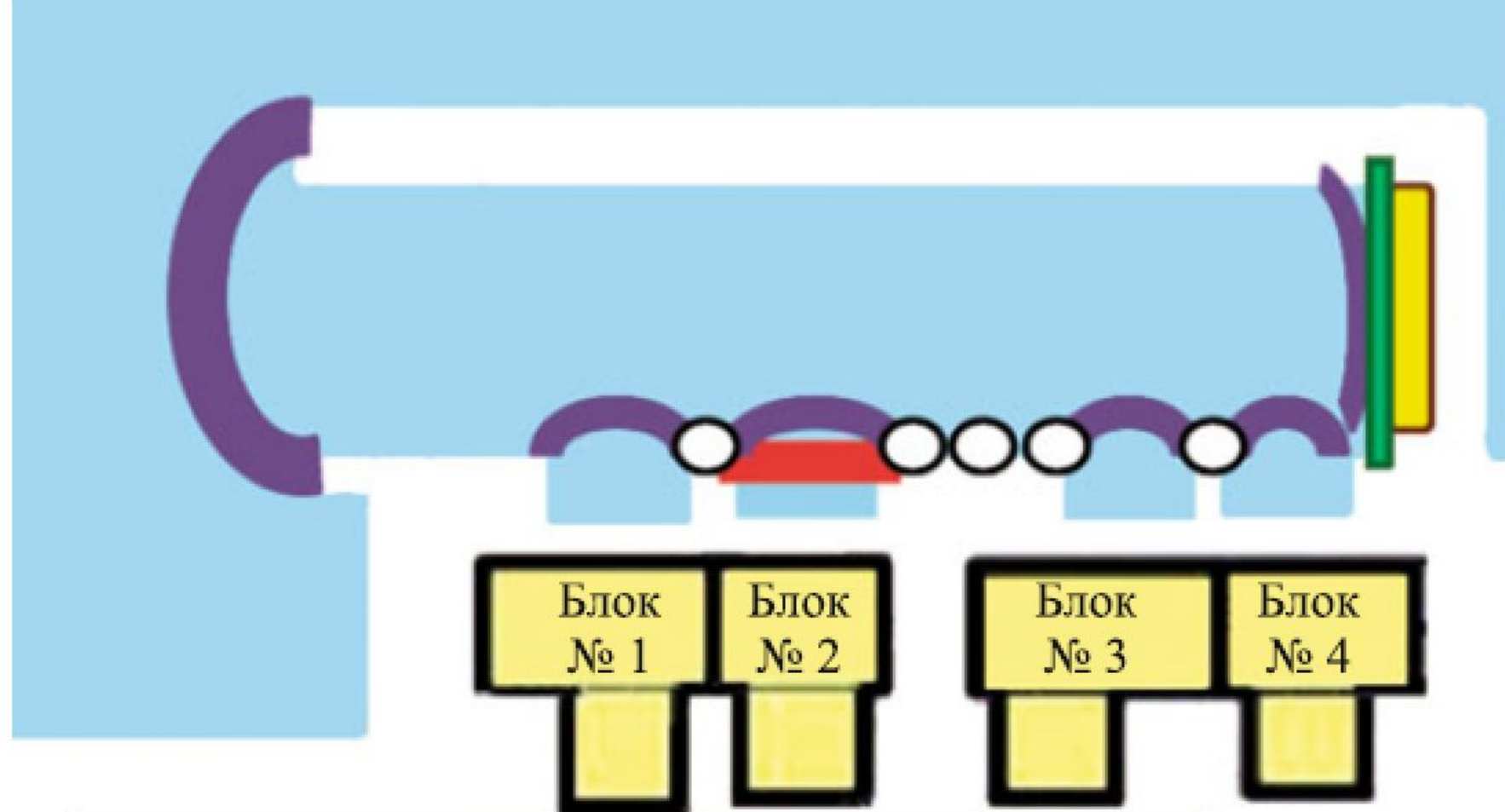


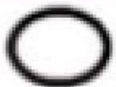
- 1-здание реактора;
- 2-здание турбины;
- 3-электродвигатель насоса;
- 4-водоприёмник;
- 5-помещения дизель-генераторов;
- 6-трубопровод морской воды;
- 7-насосы морской воды

The diagram illustrates the power distribution system for Block No. 5 and Block No. 6. Block No. 5 includes an 'Автомобиль с электрогенератором' (Car with generator) connected to a '5U RHR MCC' (Main Control Center). Block No. 6 shows a '6,9 кВ' (6.9 kV) busbar with a 'D/G 6 В' (6 V generator) and a '6C' (6C-2) busbar. The diagram also shows a 'Временный кабель' (Temporary cable) and a 'Прямое присоединение' (Direct connection) to the '6C' busbar. The diagram is divided into two main sections: 'Блок № 5' (Block No. 5) and 'Блок № 6' (Block No. 6). Block No. 5 contains a car with a generator (1) and a 5U RHR MCC (3). Block No. 6 contains a 6.9 kV busbar (6C) with a generator (D/G 6 В) and a 6C-2 busbar. The diagram shows a temporary cable (4) and a direct connection (5) to the 6C busbar. The diagram also shows a 6.9 kV busbar (6D) with a generator (D/G 6 В) and a 6C-1 busbar. The diagram is divided into two main sections: 'Блок № 5' (Block No. 5) and 'Блок № 6' (Block No. 6).

1-временный погружной насос системы отвода тепла;  
2-насос системы отвода тепла; 3,4-панели систем А и В  
постоянного тока; 5-щит освещения; 6-распредустройство  
низкого напряжения; 7,8-механизмы газоочистки





-  Иловый щит
-  Стальной затвор
-  Мешки с песком
-  Мешки с песком и цеолитом
-  Стальной шрунт

- Общий вид на повреждённую АЭС



# Список литературы

- 1. Корниенко А.Г. ОАО «Концерн Росэнергоатом». Обзор аварии на АЭС Фукусима-1 в Японии. Журнал «Электрические станции», 2012/1, стр.2-15.
- 2. Корниенко А.Г. ОАО «Концерн Росэнергоатом». Обзор аварии на АЭС Фукусима-1 в Японии. Журнал «Электрические станции», 2012/2, стр.13-28.
- 3. Корниенко А.Г. ОАО «Концерн Росэнергоатом». Обзор аварии на АЭС Фукусима-1 в Японии. Журнал «Электрические станции», 2012/3, стр.2-8.
- 4. Корниенко А.Г. ОАО «Концерн Росэнергоатом». Обзор аварии на АЭС Фукусима-1 в Японии. Журнал «Электрические станции», 2012/4, стр.2-8.