

**ЛЕКЦИЯ 21. ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО  
ПРИНЦИПА СТРУКТУРНОГО  
ПОСТРОЕНИЯ ОБЪЕКТОВ НАЗЕМНОЙ  
КОСМИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ.**

## 21.1. Основные параметры, определяющие принципы построения.

Основными параметрами, определяющими принципы построения, структуру и состав систем наземного обслуживания являются:

1. габаритно-массовые характеристики ЛА;
2. спецификация компонентов топлива;
3. время функционирования комплекса от первого пуска ЛА до последнего;
4. время накопления необходимого запаса ЛА (время от момента окончания заводской сборки первого ЛА до момента пуска первого ЛА);
5. количество запускаемых ЛА с помощью КСНО за время его функционирования и особенности техники пуска, существующие на данный момент времени.

В общем виде приведенная стоимость создания любого КСНО представляет собой аддитивную функцию, слагаемыми которой являются стоимости агрегатов, сооружения и системы наземного обслуживания:

$$C_{КСНО} = \sum_{i=1}^N nC_i$$

Здесь  $C_{КСНО}$  – полная стоимость создания КСНО;  $N$  – количество разнородных элементов КСНО;  $C_i$  – стоимость  $i$ -го элемента;  $n$  – количество одинаковых элементов КСНО (например, заправочных агрегатов).

В зависимости от схемы структурного построения и особенностей его отдельных элементов общая стоимость систем наземного обеспечения будет различной даже при использовании одного и того же метода предстартовой подготовки ЛА.

Для горизонтального метода сборки ЛА на ТП возможны два основных варианта построения стартовой позиции, включающей несколько пусковых установок:

- ▣ обслуживание каждой пусковой установки автономной системой заправки, стационарным или передвижным установщиком и передвижной башней обслуживания. При этом стоимость будет определяться как
  - количество пусковых установок;  $n_{ПУ}$  – количество пусковых установок;  $C_{ПУ}$  – стоимость пусковой установки;
  - стоимость башни обслуживания;  $C_{б.о}$  – стоимость башни обслуживания;  $C_{з.о}$  – стоимость транспортно-пускового агрегата;
  - стоимость заправочного оборудования;  $C_{з.о}$  – стоимость заправочного оборудования;  $C_{пу.а}$  – стоимость передвижного установщика;
- ▣ обслуживание всех пусковых установок общей системой заправки, одним или  $n_2$  передвижными установками и  $n_3$  передвижными башнями обслуживания. При этом стоимость определяется по формуле

Подобные стоимостные зависимости составляются для различных вариантов структурного построения КСНО с учетом особенностей его отдельных элементов.

$$C_{КСНО} = n_1 C_{ПУ} + n_2 C_{пу.а} + n_3 C_{б.о} + C_{з.о}$$

Если суммарная стоимость создания КСНО является функцией одного аргумента (например, стартовой массы ЛА), сравнительный анализ вариантов построения систем наземного обслуживания может быть проведен графически.

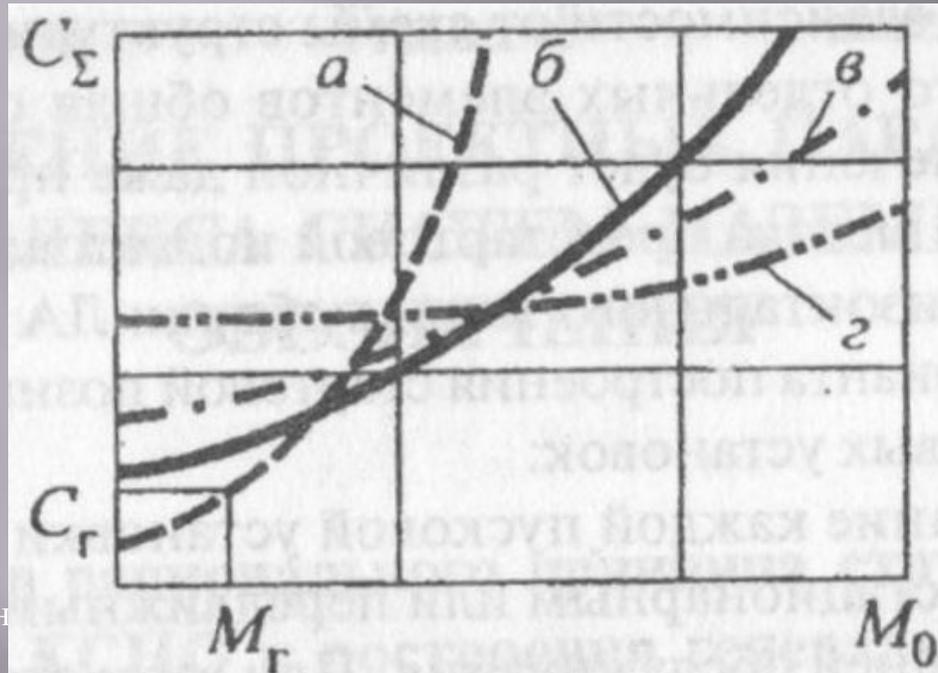


Рисунок 21.1. Зависимости стоимости создания КСНО от стартовой массы ЛА для четырех методов подготовки ЛА.

На рисунке 21.1 представлены зависимости стоимости создания КСНО от стартовой массы для четырех основах методов подготовки ЛА: *a* — горизонтальная сборка ЛА в МИК на ТП с последующей транспортировкой и установкой на ПУ; *б* — вертикальная сборка ЛА в МИК на ТП и доставка на ПУ; *в* — сборка ЛА на стартовом устройстве минуя ТП; *г* — совмещенный метод сборки.

Выбор рационального принципа структурного построения позволяет определить рациональные методы сборки ЛА различных классов и оптимальный состав основных элементов КСНО при проведении технологического процесса подготовки ЛА.

Для выбранного рационального принципа структурного построения КСНО необходимо определить дислокацию и составить генеральный план размещения основных систем наземного обеспечения.

Требования, предъявляемые к дислокации и планировке КСНО, могут быть сведены в три основные группы:

1. Требования, обусловленные задачами, которые возлагаются на обслуживаемый ЛА. Удовлетворение требований осуществляется определением для каждого класса ЛА масштаба территории и прилегающих районов, а также азимута и широты дислокации КСНО.
2. Требования, характеризующие издержки создания и ввода в строй КСНО. К этим требованиям относятся удовлетворительные характеристики грунта, рельеф местности, уровень грунтовых вод и т. п., а также наличие строительных организаций, строительных материалов, воды, источников энергии, транспортных магистралей.
3. Эксплуатационные требования, к которым относятся метеорологические условия, определяемые перепадом годовых температур, розой ветров, количеством солнечных дней в году, количеством гроз и т. п.; плотность населения в зоне размещения КСНО и зоне пусков ЛА; обеспеченность водой, энергией, наличием подъездных путей.

## 21.2. Выбор рационального структурного построения объектов НКИ.

Сооружения на ТП и СП группируются как в соответствии с технологической принадлежностью, так и с учетом требований дислокации по защищенности.

При построении КСНО используется принцип зонирования, в соответствии с которым имеются зоны размещения ПУ, хранения комплектов топлива, вспомогательных производств, а также административно-хозяйственных зданий и другие. При обосновании масштабов этих зон наибольшую значимость имеет опасность крупных аварий, связанных со взрывом.

Задача определения параметров живучести элементов КСНО в общем случае имеет две формулировки:

- определяется минимальное расстояние между элементами КСНО в зависимости от избыточного давления во фронте ударной волны, которую способны выдержать эти элементы.

- определение оптимального соотношения между избыточным давлением во фронте ударной волны и расстоянием между элементами при минимальных затратах и заданной эффективности КСНО.

Для определения избыточного давления  $\Delta p_\phi$  во фронте ударной волны на расстоянии  $L$  от эпицентра взрыва можно пользоваться приближенной формулой М.А. Садовского:

$$\Delta p_\phi = 1,04 \left( \frac{\sqrt[3]{M_{ТНТ}}}{L} \right)^{1,747}$$

где  $M_{ТНТ}$  – тротильный эквивалент взрыва, кг;  $L$  – расстояние, м.

Из этой формулы можно получить величину безопасного расстояния, на котором должен находиться элемент КСНО от эпицентра:

$$L = \frac{38 \sqrt[3]{M_{ТНТ}}}{[\Delta p_\phi]^{0,575}}$$

где  $[\Delta p_\phi]$  – допустимое избыточное давление, при котором данный элемент КСНО сохраняет работоспособность.

Таблица 21.1. Допустимое избыточное давление для некоторых элементов КСНО

Элемент КСНО	$\Delta p_\phi$ , МПа
Защищенный КП	0,5...1
Закрытое хранилище КРТ	0,2
Открытое хранилище КРТ	0,01
Башни обслуживания	0,03
МИК ЛА и МИК КО	0,002
Элемент КСНО	, МПа
Жилые здания	0.005...0,01
ЛА	0,001...0,003
Открытый КП	0,01

Увеличение расстояния между сооружениями уменьшает стоимость их строительства за счет снижения требований к прочности, а с другой стороны увеличение расстояния между этими сооружениями увеличивает стоимость коммуникаций и дорог, то, очевидно, существует оптимальное соотношение между расстоянием  $L$  и допустимым избыточным давлением  $\Delta p_{\phi}$ , при котором

$$C_{\Sigma}^c = C_c(\Delta p_{\phi}) + C_{дор}(L) = C_{\Sigma \min}$$

$$C_{\Sigma}^{3.c} = C_{xp}(\Delta p_{\phi}) + C_k(L) = C_{\Sigma \min}$$

где  $C_{\Sigma}^c$  – суммарные затраты на строительство сооружений и дорог;  $C_c(\Delta p_{\phi})$  – стоимость строительства сооружений;  $C_{дор}(L)$  – стоимость строительства дорог;  $C_{\Sigma}^{3.c}$  – суммарная стоимость хранилища и коммуникаций;  $C_{xp}(\Delta p_{\phi})$  – стоимость строительства хранилища и коммуникаций соответственно.

Определяется оптимальное расстояние между ПУ и хранилищем компонента топлива на основе анализа зависимости между стоимостью системы заправки и стоимостями строительства хранилища и заправочных коммуникаций. Чем ближе к ПУ расположено хранилище, тем большее избыточное давление оно должно выдерживать и тем оно дороже. При этом коммуникации будут короче, а стоимость их меньше, т.е. существует такое соотношение между расстоянием и избыточным давлением, при котором стоимость системы заправки минимальна. Аналитически это запишется так:

где  $K$  – коэффициент соотношения строительного объема к общему объему емкости ( $K=6,4$  для цилиндрических емкостей);  $V_{xp}$  – объем хранилища;  $C_{xp}$  – удельная стоимость строительства хранилища;  $K_{\Delta p_{\phi}}$  – коэффициент степени защищенности;  $K_1$  – коэффициент пропорциональности;  $C_k$  – удельная стоимость строительства коммуникаций, р/м<sup>3</sup>.

## 21.3. Определение безопасных расстояний между объектами НКИ.

Проведенный анализ показывает, что оптимальное расстояние между ПУ и хранилищем компонента топлива определяется (в метрах) по формуле

$$L^{opt} = 5,91F \left( \frac{\bar{C}_{кр}}{\bar{C}_к} \right)^{0,6} M_0^{0,7}$$

где  $M_0$  – стартовая масса ЛА, кг;  $F \left( \frac{\bar{C}_{кр}}{\bar{C}_к} \right)$  – функция, зависящая от компонента и определяемая эмпирическим путем.

Для некоторых компонентов значение  $F$  приведено в таблице 21.2:

Значения функции  $F$  для некоторых компонентов топлива

Компонент	АТ+НДМГ		O <sub>2</sub> +РГ1		O <sub>2</sub> +H <sub>2</sub>	
	АТ	НДМГ	O <sub>2</sub>	РГ1	O <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>
$F \left( \frac{\bar{C}_{кр}}{\bar{C}_к} \right)$	1,515	1,257	2,1	1,506	2,745	5,139

Безопасное расстояние отвода башни обслуживания от пускового устройства определяется по следующим формулам:

- для АТ+НДМГ
- для O<sub>2</sub> + РГ1
- для O<sub>2</sub> + Н<sub>2</sub>

где допустимое избыточное давление принято МПа; расстояние в м; стартовая масса в кг.

Безопасное расстояние от ПУ до МИК:

- для АТ+НДМГ
- для O<sub>2</sub> + РГ1
- для O<sub>2</sub> + Н<sub>2</sub>

где допустимое давление для МИК составляет МПа.

Безопасное расстояние от ПУ до жилого городка:

- для АТ+НДМГ
- для O<sub>2</sub> + РГ1
- для O<sub>2</sub> + Н<sub>2</sub>

где допустимое избыточное давление МПа.