

Лекция 11.

Натурные испытания аэродромных покрытий

Натурные испытания аэродромных покрытий бывают двух видов: статические и динамические. В первом случае конструкции покрытия испытывают однократными статическими нагрузками, возрастающими степенями. Во втором - многократно повторяющимися подвижными нагрузками.

Задачами статических испытаний являются:

- определение несущей способности конструкции аэродромного покрытия;
- подтверждение расчетных значений разрушающих нагрузок, напряжений и деформаций;
- проверка теоретических гипотез, принятых в методах расчета аэродромных покрытий;
- проведение контрольных сертификационных испытаний на расчетные нормативные нагрузки.

Задачами динамических испытаний являются:

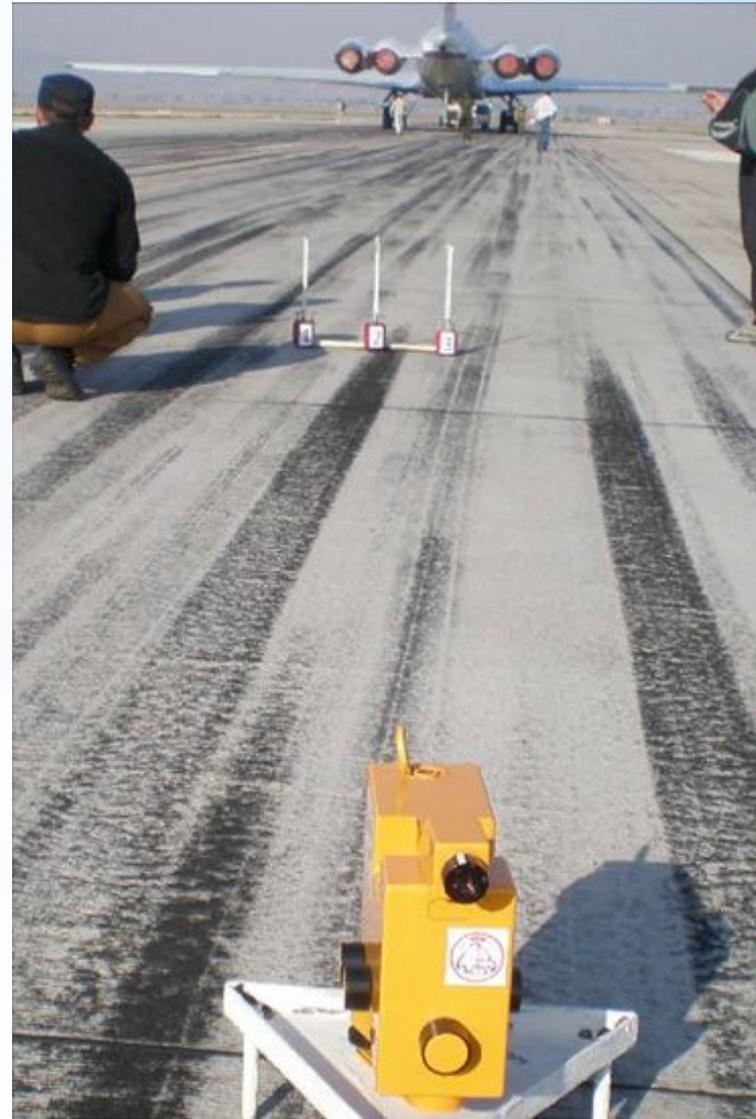
- определение долговечности конструкции аэродромного покрытия, выраженной в циклах приложений нагрузки до разрушения (образования или раскрытия трещины);
- исследование закономерностей изменения параметров (прогибов, относительных деформаций), характеризующих напряженно-деформированное состояние конструкции покрытия с увеличением числа циклов нагружений;
- проверка гипотез, принятых в существующих методах расчета (например, о неразрывности вертикальных перемещений на контакте подошва плиты - основание);
- исследование эффективности новых конструктивных и технологических решений;
- определение расчетных параметров математических моделей, характеризующих накопление усталостных повреждений.

Испытания жесткого покрытия прокаткой самолета

Измерения отсчетов проводятся дважды: после наезда главной опоры на заданную точку марки устанавливаются на предварительно определенных расстояниях от колес опоры. После стабилизации осадок покрытия фиксируются отсчеты, и самолет перемещается на расстояние, превышающее диаметр чаши погибов плиты.

Второй раз, без нагрузки, отсчеты снимаются при том же положении марок. Фактические деформации (прогибы) покрытия определяются как разница соответствующих отсчетов под нагрузкой и без нее.

В качестве измерительного средства для оценки вертикальных деформаций (прогибов) используется нивелир Carl Zeiss Ni 002A, посредством которого определяются отсчеты по нивелирным рейкам - маркам, которые устанавливаются на заданных расстояниях от центра колеса.



Установка самолета на точку испытаний



Измерение прогибов под опорой



Измерение прогибов без опоры

После измерения деформаций самолет с помощью тягача перемещается на следующую точку испытаний. После разгрузки покрытия измерение деформаций повторяется.



Универсальная схема нагружения



Схемы нагружения четырехколесными опорами

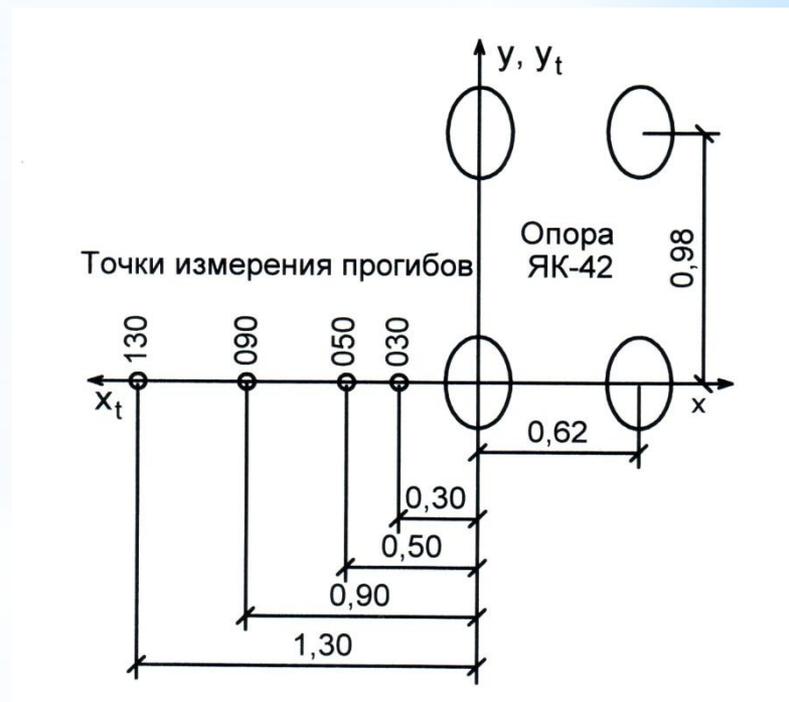
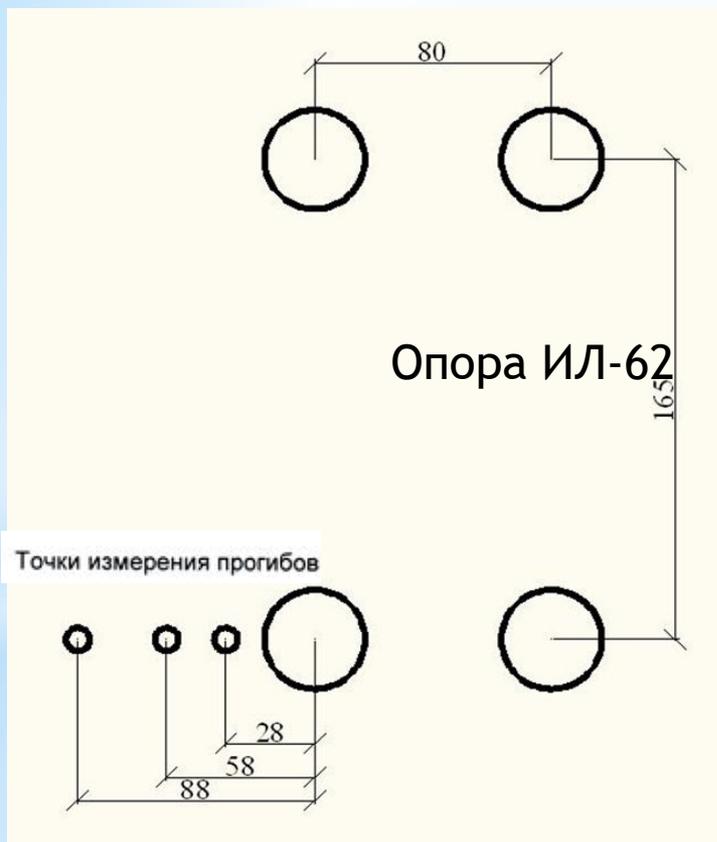
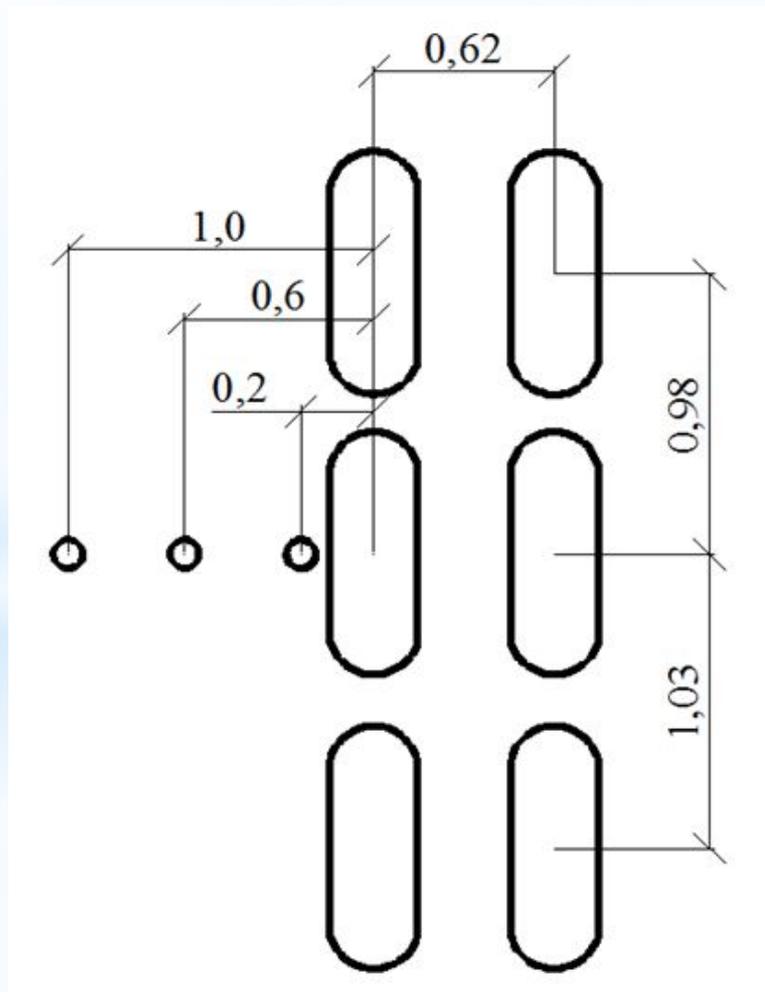
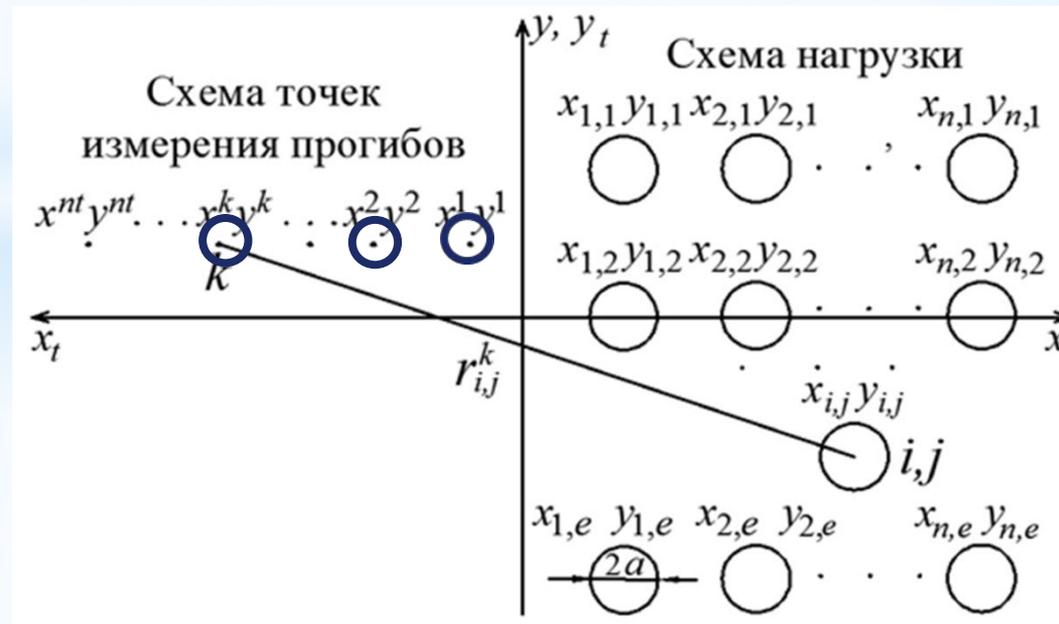


Схема нагружения шестиколесной опоры



Определение фактических упругих прогибов

Значения упругого прогиба в каждой точке (на примере в 3-х точках) получаются вычитанием отметок после нагружения и при нагружении покрытия. В результате определяются фактические прогибы покрытия $w_{fact}(x^k, y^k)$ в точках (x^k, y^k) .



Определение характеристик конструкции

Для определения прочностных характеристик покрытия по значениям фактических прогибов используется решение Б.Г.Коренева уравнения бесконечной плиты при модели Винклера (коэффициента постели).

Теоретический прогиб покрытия находится по формуле

$$w(x, y) = \sum_{j=1}^e \sum_{i=1}^n w_{ij}(x, y), \quad (1)$$

где $w(x, y)$ — прогиб в точке (x, y) плиты от действия всех колес опоры, м;

$w_{ij}(x, y)$ — прогиб в указанной точке от действия ij -го колеса опоры, м;

n — число колес на оси.

Прогибы плиты покрытия от сосредоточенной нагрузки для модели Винклера

$$w_{ij}(x, y) = \frac{F_d}{4l^2 K_s} f_0(\xi_{ij}), \quad (2)$$

где F_d — величина нагрузки на колесо, МН;

l — упругая характеристика плиты, м;

K_s — коэффициент постели основания, МН/м³;

$\xi_{ij} = \frac{r_{ij}^k}{l}$ — приведенное расстояние от нагрузки до рассматриваемой точки плиты;

r_{ij}^k — расстояние от ij -го колеса опоры до k -й точки плиты, м (см. схему нагружения).

Расстояние от колеса (i, j) до точки K на плите равно

$$r_{i,j}^k = \sqrt{(x_{i,j} + x^k)^2 + (y_{i,j} - y^k)^2} . \quad (3)$$



Определение упругой характеристики плиты

Из формул (1) и (2) найдем отношение прогибов от действия опоры в точках плиты с координатами (x^k, y^k) и (x^m, y^m) :

$$\frac{w(x^k, y^k)}{w(x^m, y^m)} = \frac{\sum_{i=1}^n f_0(\xi_{i,j}^k)}{\sum_{i=1}^n f_0(\xi_{i,j}^m)} = \frac{\sum_{i=1}^n f_0\left(\frac{r^k}{l}\right)}{\sum_{i=1}^n f_0\left(\frac{r^m}{l}\right)}. \quad (4)$$

В формулу (4) в неявном виде входит искомая упругая характеристика плиты l .

В результате эксперимента определены величины прогибов в точках k и m : $w_{fact}(x^k, y^k)$ и $w_{fact}(x^m, y^m)$. Очевидно, что при величине упругой характеристики, равной фактическому значению: $l = l_{fact}$ имеет место равенство

$$\frac{w(x^k, y^k)}{w(x^m, y^m)} = \frac{w_{fact}(x^k, y^k)}{w_{fact}(x^m, y^m)}. \quad (5)$$

Таким образом, для определения упругой характеристики плиты нужно подобрать такое значение l , при котором выполняется условие (5). Будем искать значение упругой характеристики в интервале $l_{\min} \leq l < l_{\max}$

Зададим начальное значение $l = l_{\min}$ и шаг поиска $\Delta = 0,01\text{м}$, определяемый требуемой точностью вычисления упругой характеристики. Получим дискретное множество значений

$$L = \{l_{\min}, l_{\min} + \Delta, l_{\min} + 2 \cdot \Delta, \dots, l_{\max}\}. \quad (6)$$

Перебирая элементы этого множества, можно найти $l_f \in L$, для которого выполняются неравенства

$$\frac{\sum_{i=1}^n f_0 \left(\frac{r_{i,j}^k}{l_f} \right)}{\sum_{i=1}^n f_0 \left(\frac{r_{i,j}^m}{l_f} \right)} \leq \frac{w_{fact}(x^k, y^k)}{w_{fact}(x^m, y^m)} \leq \frac{\sum_{i=1}^n f_0 \left(\frac{r_{i,j}^k}{l_f + \Delta} \right)}{\sum_{i=1}^n f_0 \left(\frac{r_{i,j}^m}{l_f + \Delta} \right)}. \quad (7)$$

Найденное значение l_f является реализацией опытного значения упругой характеристики плиты. Перебирая отношения всех прогибов в точках $k = 1..nt, m = 1..nt$, определим для них значения l_f

Полученный статистический ряд значений упругой характеристики проверяется на однородность и на соответствие нормальному закону распределения. Определяются оценки математического ожидания величины упругой характеристики плиты

$$\bar{l} = \frac{1}{ntl} \sum_{i=1}^{ntl} l_{f_i} \quad (8)$$

и среднеквадратического отклонения

$$S_l = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{ntl} (l_{f_i} - \bar{l})^2}{ntl - 1}} \quad (9)$$

Значения коэффициента постели основания определяются по формуле

$$K_{s_j} = \frac{F_d \cdot \sum_{j=1}^m f_0(\xi_{i,j})}{4 \cdot w_{fact}(x^j, y^j) \cdot \bar{l}^2}, \quad (10)$$

где F_d – нагрузка на колесо.

Математическое ожидание коэффициента постели определяется как среднее значение:

$$\bar{K}_s = \frac{1}{ntk} \sum_{k=1}^{ntk} K_{s_k}. \quad (11)$$

Величина жесткости сечения плиты вычисляется по формуле,

$$\bar{B} = \bar{l}^4 \cdot \bar{K}_s. \quad (12)$$

Значения коэффициента постели основания определяются по формуле

$$K_{s_j} = \frac{F_d \cdot \sum_{j=1}^m f_0(\xi_{i,j})}{4 \cdot w_{fact}(x^j, y^j) \cdot \bar{l}^2}, \quad (10)$$

где F_d – нагрузка на колесо.

Математическое ожидание коэффициента постели определяется как среднее значение:

$$\bar{K}_s = \frac{1}{ntk} \sum_{k=1}^{ntk} K_{s_k}. \quad (11)$$

Величина жесткости сечения плиты вычисляется по формуле,

$$\bar{B} = \bar{l}^4 \cdot \bar{K}_s. \quad (12)$$

Результаты испытаний

Полученные значения упругой характеристики плиты, коэффициента постели и жесткости используются при расчете прочности испытанного аэродромного покрытия.