

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ РИСКОВ И МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ НАДЁЖНОСТИ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ АЭРОПОРТОВ

*Представляется методология комплексных исследований надёжности зданий и сооружений аэропортов, основанная на рациональном сочетании детерминистических и вероятностных подходов в численном моделировании объектов и оценке качества инженерного решения задачи на основе теории рисков.*

В настоящее время в практике аэропортостроения при проектировании, реконструкции и оценке эксплуатационного технического состояния объектов регламентируются, по существу, детерминистические принципы анализа прочности, жёсткости, устойчивости и колебаний конструкций. Представление нагрузок и формирование расчётных схем осуществляется на основе концепции максимально возможного события, глубокоэшелонированной обороны и других подходов, обеспечивающих функциональные запасы, но не позволяющих получить высокоэффективное решение инженерной задачи [1-4].

Однако в практике создания наиболее прогрессивных наукоёмких технологий закладываются более совершенная методология, где осуществляется рациональное сочетание детерминистических и вероятностных численно-модельных исследований вариантов объекта и в конечном счёте качество решения оценивается мерой риска деградационного или экстремального изменения структуры [2-4].

Такая оценка более глубоко отражает достоинства и недостатки рассматриваемого варианта в сравнении с другими решениями. Поэтому построение и реализация методик расчёта конструкций на основе теорий математического моделирования и оценок рисков составляет одно из наиболее актуальных научных направлений.

В докладе представляется методика, которая предполагает построение решения в два основных этапа [4]. На первом этапе определяется обобщённая реакция системы (фильтра)  $R$ , переменная во времени  $t$ , в результате действия оператора  $\bar{R}$  на совокупность внешних нагрузок  $P(t)$  (входных параметров фильтра) и функциональной характеристики системы (фильтра)  $W(t)$ :

$$R(t) = \bar{R}[P(t), W(t)].$$

Второй этап заключается в определении меры риска [4], как основного показателя надёжности здания или сооружения аэропорта, являющегося функцией экстремальных значений  $R(t)$ .

В соответствии с логикой такого подхода исходные данные о  $P(t)$  представляются в виде двух групп. Первую группу составляют параметры внешних нагрузок и воздействий, а также постулируемые исходные события, способные вызвать отказы системы и существенные негативные последствия значения внешних нагрузок используются в детерминистической части моделирования. Но при этом принимается во внимание не только регламентированные фиксированные значения параметров механического нагружения, изменения температуры, динамических эффектов и т.п., но и учитываются также вероятностные характеристики [2, 3]. Так эффект совместного действия статических и динамических нагружений представляется в виде:

$$N_p = B_1 e^{-B_2 P_0(t)}, \text{ где } N_p - \text{число параметров, соответствующих интенсивности } P_0(t),$$

$B_1$  и  $B_2$  - вероятностные коэффициенты,

$P_0(t) = \ln(P)$  – интенсивность, зависящая от нормативного значения  $P(t)$ .

Аналогичный подход используется для определения наибольшей возможной интенсивности внешней нагрузки (в первую очередь, динамической) при значительном возможном разбросе данных и при других совместных сочетаниях воздействий окружающей среды (например, при совместном учёте износа, усталости и предельного статического нагружения).

Вторая группа параметров внешних воздействий задаётся в форме перечня наиболее значительных исходных событий и их характеристик, которые необходимо учесть при вероятностной и комбинированной оценке риска реализации негативных последствий эксплуатационных и экстремальных случайных процессов [4].

В инженерной практике, значительный разброс исходных параметров возникает при описании конструктивной системы с целью формирования различных расчётных схем. Сравнительно небольшое влияние (за исключением параметров моделирования грунтов) оказывает учёт физических характеристик материалов которые имеют сравнительно небольшой разброс определяющих случайных факторов. Однако при формировании расчётных схем и выборе аналитических или численных методов решения, допускается наибольший произвол, связанный с индивидуальными качествами расчётного аппарата и исполнителей работы. На этой стадии, отсутствие оценки качества расчёта, может существенно исказить выводы о реальной надёжности объекта.

Выполнение этой стадии, обычно предполагает формирование расчётной схемы, исходя из наличия у проектировщика того или иного аппарата реализации численного метода моделирования, а также интуиции и опыта исполнителя работ. Далее, разработанная модель обычно реализуется с очень высокой компьютерной точностью.

Например, применение численно-аналитического метода потенциала связано с построением дискретных аналогов сингулярных интегральных уравнений, разрешающих поставленную граничную пространственную задачу по множеству узлов  $N \in \Gamma$  и позволяющих вычислить любой компонент напряжённно-деформированного состояния в произвольной точке  $K \in S$  [5]:

$$\Omega_{ml}^{(\alpha)}(K) = \Omega_S + \iint P_i^{(n)}(N) \Omega_{ml}^{(\alpha)} U_i^{(n)*}(K, N) d\Gamma - \iint_{\Gamma} U_i^{(n)}(N) \Omega_{ml}^{(\alpha)} P_i^{\Gamma(n)*}(K, N) P_i^{(n)*} d\Gamma,$$

$$\Omega_S = \iiint_S X_i(P) \Omega_{ml}^{(\alpha)} U_i^{(*)}(K, P) dS. \quad (1)$$

Задачи такого класса возникают при комплексном моделировании зданий аэропорта совместно с грунтовым основанием, или при использовании различных расчётных предпосылок при анализе жёстких аэродромных покрытий. Так, можно привести примеры расчёта достаточно жёсткого здания на двухслойном основании, при котором использование различных гипотез может привести к принципиально расходящимся результатам анализа [3].

При использовании сравнительно простой расчётной схемы, когда верхний слой представляется в соответствии с гипотезой о пропорциональности и располагается на упругом полупространстве, реакции между основанием и фундаментом будут распределяться таким образом, что изгиб фундамента будет отсутствовать.

Оптимальность такого решения следует из выражения невязок:

$$I_{\min} = \int_S P_0 [f_i(x) - \varphi_i(x)]^2 dx,$$

где  $f_i(x)$  – нагрузка на фундамент,

$\varphi_i(x)$  – реакция основания.

Однако изменение расчётной схемы в пространственную, приводит к появлению изгибающих усилий и “оптимальность” решения исчезает. Исследование объекта по

предложенной нами методике исключает ошибки такого типа, поскольку решение строится при последовательном усложнении моделей объекта и оценке расхождения решения по итерациям.

Указанный подход весьма целесообразен также при моделировании изменений объекта, когда последовательно представляется деградация объекта (например, при износе) при реализации отказов и переходных процессов в системе. В наиболее сложных случаях, расчётная схема последовательно усложняется и составляется из элементов, характеризующихся различной размерностью, связанностью и законами деформирования.

Реализация таких моделей осуществляется при требуемом сочетании детерминистических и вероятностных подходов при использовании результатов экспериментов и натуральных измерений для обоснования решения инженерной задачи.

На основании выполненных исследований, можно сделать следующие выводы:

Сопоставление результатов расчётов, полученных в соответствии с регламентированными методиками и по комплексным детерминистическим вероятностным методикам при использовании математического моделирования и теории рисков, показывает, что во многих случаях традиционные варианты расчётов приводят к неоправданному завышению стоимости объектов без оказания существенного влияния на их надёжность.

История развития методологии расчётов прочности, жёсткости, устойчивости и колебаний объектов в ведущих отраслях техники может служить аналогом процесса формирования нормативно-технической базы аэропортостроения. Анализ этой базы выявляет её несоответствие современному научному уровню и обосновывает необходимость модернизации аппарата исследований этих объектов с учётом экстремальных и штатных эксплуатационных условий.

Как следует из анализа развития методологии исследований в атомной энергетике и других ведущих отраслях, для решения наиболее сложных и дорогостоящих инженерных задач аэропортостроения (в частности, проектирования жёстких аэродромных покрытий) целесообразно использовать системный подход, в котором объект описывается многоуровневой структурой и последовательно усложняемыми связанными задачами, при рациональном сочетании расчётных аппаратов исследований [1].

#### Список литературы

1. Верюжский Ю.В., Манько А.В., Першаков В.Н., Сагидаев Ю.М. Строительная механика в системах автоматизированного проектирования конструкций зданий и сооружений гражданской авиации. К.: КИИГА, 1989. –123 с.
2. Аугусти Г., Баратта А., Каинати Ф. Вероятностные методы в строительном проектировании. – М.: Стройиздат, 1988. – 584 с.
3. Сеницын А.П. Расчёт конструкций на основе теории риска/ - М.: - Стройиздат, 1985. –304 с.
4. Верюжский Ю.В. Численные методы анализа экстремальных объектов. //Вісник КМУЦА – 2000. - №1. с. 209-214
5. Верюжский Ю.В. Численные методы потенциала в некоторых задачах прикладной механики. – К.: Вища школа, 1978. – 184 с.