

Роман Орлович
Брестский политехнический институт

К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НОРМАТИВНЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Принятый в настоящее время метод нормирования, получивший в СССР название метода предельных состояний, а за рубежом - метода частных коэффициентов, формализован в виде известного условия

$$\gamma_n Q(\gamma_n, \gamma_f, \gamma_d) \leq S(R_n, \gamma_m, \gamma_d),$$

в котором полная система частных коэффициентов состоит из пяти групп: γ_n - коэффициентов надежности по назначению, γ_f - то же по нагрузке, γ_m - то же по материалу, γ_d - коэффициентов условий работы и коэффициентов геометрических размеров.

Как известно нормирование коэффициентов надежности основано на допущении о том, что каждый из них учитывает изменчивость лишь одной исходной величины. Другими словами, если надежность конструкции представить в виде функции многих исходных величин, то каждый коэффициент надежности будет зависеть от частной производной этой функции по соответствующим переменным. Коэффициенты условий работы γ_d отражают факторы, которые для упрощения расчетной модели либо не учитываются прямым путем (влияние физической нелинейности, податливости соединений и др.) либо не имеют приемлимого аналитического описания (температурно-влажностные воздействия, агрессивность среды и т.д.).

Частные коэффициенты представлены в нормах в виде некоторых детерминированных величин, уточняемых по мере накопления теоретических и опытных данных. На эти коэффициенты можно умножать либо делить значения усилий Q либо несущую способность S как конструкции в целом, так и ее отдельных элементов. Коэффициенты точности геометрических размеров кроме того могут быть представлены в виде слагаемых к нормативным значениям.

Формализованный в изложенном виде, метод частных коэффициентов на сегодняшний день не только вошел в противоречие с потребностями практики, но и в ряде случаев исчерпал себя с точки зрения его дальнейшего развития традиционным путем. Во-первых, это связано с тем, что при дифференциации расчетных коэффициентов их количество резко возрастает. В результате обций коэффи-

циент, как произведение частных, может стать недопустимо малым, что приводит к большим запасам прочности. В связи с этим, например в СНиП 2.03.01-84 "Бетонные и железобетонные конструкции", минимальное произведение коэффициентов условий работы бетона $\sum \gamma_i$ ограничивается числом 0,45. Во-вторых, при увеличении числа частных коэффициентов, особенно получаемых эмпирическим путем, усугубляется разрыв между расчетной моделью и ее физической наглядностью.

Существенным недостатком метода частных коэффициентов является и то, что в нем отсутствует в явном виде учет фактора времени. Между тем без этого нельзя решать задачи расчета долговечности конструкций и сооружений, рациональной продолжительности их эксплуатации. Разработка метода расчета строительных конструкций на долговечность неразрывно связана с необходимостью изучения изменчивости их свойств в течении срока службы, что еще в 60-ых годах Н.С.Стрелецкий называл "крайне неотложной задачей". Логическое развитие методов расчета по предельным состояниям рассматривалось им как выход из узких рамок строительной механики и перевод их на комплексную оценку с точки зрения строительной механики и строительной физики.

Для разрешения отмеченных противоречий в первую очередь необходимо пересмотреть общепринятую концепцию формирования частных коэффициентов. Последняя должна базироваться не на дальнейшей их дифференциации, а на построении функциональных зависимостей, обобщающих комплексное и взаимосвязанное влияние разнообразных факторов на предельное состояние конструкций. При этом необходимо учитывать не только взаимосвязь самих факторов, например временную, а и взаимозависимость последствий их влияния на работоспособность конструкций. Речь идет о получении общего решения задачи расчета конструкций на нагрузку, представляющую собой заданный процесс с известным законом изменения ее во времени, с учетом реальных зависимостей между воздействиями и сопротивлениями. Причем основные характеристики сопротивления, входящие в указанные зависимости, также должны рассматриваться как функции времени, учитывающие релогические и анизотропные свойства материалов. Развитие такого подхода к расчету строительных конструкций разных видов является естественным совершенствованием их расчетных моделей / 1 /.

Изложенный подход был впервые реализован автором применительно к конструкциям из различных древесных материалов / 2 /.

Как известно существующие методы их расчета недостаточно достоверно отражают реальные условия эксплуатации, специфику свойств материалов. При оценке совместного влияния эксплуатационных факторов допускается ряд необоснованных упрощений. Основным из них является допущение об отсутствии взаимосвязи во времени сезонных температурно-влажностных и силовых воздействий. Их совместное влияние, учитываемое с помощью частных коэффициентов условий работы, рассматривается независимым от вида напряженного и гидротермического состояния элементов конструкций, сочетания применяемых материалов и степени их анизотропии. Во многих случаях это приводит к несоответствию расчетных моделей реальному поведению конструкций, что способствует ошибочной оценке их прочности и долговечности, а в ряде случаев является причиной их преждевременных отказов.

Построенные автором расчетные модели учитывают комплексное влияние реологии и анизотропии древесных материалов, вида напряженного состояния и условий эксплуатации конструкций. В основу метода реализации моделей положены классические зависимости теории вязкоупругости анизотропных тел и кинетической концепции прочности. Пригодность этих зависимостей для описания поведения древесных материалов при основных эксплуатационных воздействиях и видах напряженного состояния была подтверждена экспериментально. Показано, что совместное влияние эксплуатационных факторов необходимо учитывать во взаимосвязи между собой и с видом напряженного состояния. Причем совокупное влияние указанных факторов по-разному отражается на деформативности и сопротивлении материалов, усугубляя при этом степень их анизотропии.

В построенных моделях фактор времени учитывается в явном виде. Это позволяет решать задачу прогнозирования долговечности конструкций.

Указанные модели, хотя и реализованы на ЭВМ, все же с точки зрения практического использования являются достаточно громоздкими. В связи с этим на их основе в инженерных расчетах вместо частных коэффициентов условий работы впервые предложено использовать комплексные коэффициенты функционального вида. Таким образом в приведенном

выше условия метода предельных состояний вместо произведения частных коэффициентов используются их многофакторные нелинейные функции. В нормативных документах последние могут быть представлены в виде математических зависимостей, номограмм либо табулированы.

В результате численного анализа установлено существенное различие (до 30%) в оценках несущей способности конструкций при основных эксплуатационных режимах и видах напряженного состояния по предлагаемой и существующей (основанной на частных коэффициентах) методикам. Причем в зависимости от характера режима, видов материалов и конструкций это различие может быть как в опасную сторону, так и в сторону необоснованных запасов прочности.

Решение задачи прогнозирования долговечности эксплуатируемых конструкций на основе изложенного подхода сводится к следующему. Сначала определяется напряженно-деформированное состояние конструкций. В качестве исходной информации используются установленные в процессе обследований конструкций данные об их фактических размерах, деформационных характеристиках материалов и соединений, нагрузках и температурно-влажностных воздействиях и др. В результате анализа напряженного состояния и теоретической оценки прочности выявляется местоположение участков, лимитирующих несущую способность конструкций, а также участков, свободных от напряжений или с минимальным уровнем последних.

Из указанных участков отбираются образцы материала, которые после определения влажности и кондиционирования подвергаются биохимическому анализу и механическим испытаниям. При этом предполагается, что образцы, отобранные из свободных от напряжений участков конструкций, характеризуют сопротивление материала R_n в начальный момент эксплуатации t_n . Сопротивление образцов R_3 из наиболее напряженных участков характеризует ее механическое состояние с учетом накопленных за время эксплуатации t_3 повреждений. Причем развитие последних, в соответствии с кинетической концепцией прочности, связывается только с действием силовых факторов (напряжений). Степень изменения прочности во времени устанавливается на основе сопостав-

ления значений R_H и R_3 .

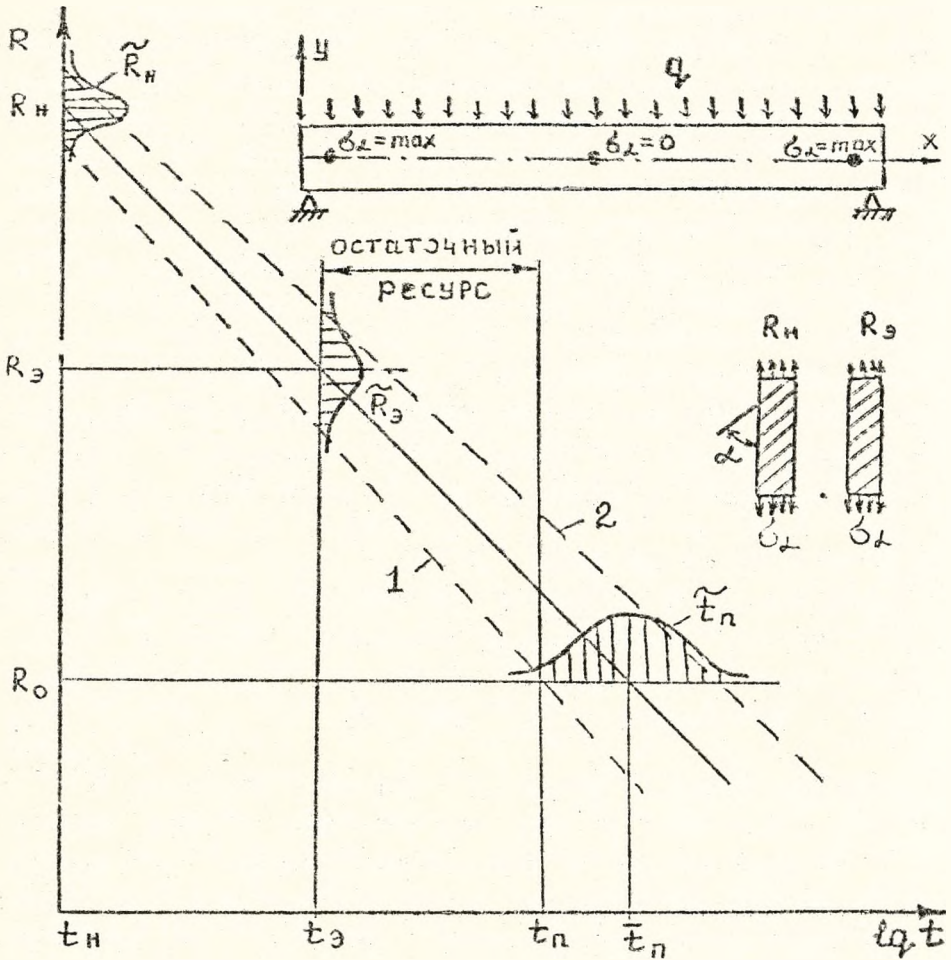
Принципиальным вопросом здесь является методика механических испытаний отобранных из разных участков конструкций образцов. В отличие от существующих методик сопротивление образцов следует определять при тех видах напряженного состояния, которые, по данным предварительной теоретической оценки, оказываются решающими для прочности конструкций. Например, образцы из приокорных зон клеодоцатых бляг следует испытывать не на скалывание, как это обычно практикуется, а на растяжение под углом к волокнам - в направлении действия наиболее опасных растягивающих напряжений σ_{\perp} .

Необходимость в подобных методах определения сопротивления древесины вызвана тем, что каждая компонента сложного напряженного состояния, которое наиболее характерно для клееных конструкций, оказывает различное влияние на степень изменения сопротивления древесины во времени / 2 /. В связи с этим оценка истинного изменения во времени прочностных свойств древесины в процессе эксплуатации конструкций может быть сделана на основе учета совместного влияния всех компонент напряженного состояния.

На основе статистического анализа результатов испытаний отобранных из конструкций образцов устанавливается закон и параметры распределения сопротивления древесины в моменты времени t_H и t_3 . Кривые распределения вероятностных величин R_H и R_3 строятся в системе координат $R - \lg t$ (рисунок). Их квантили соединяются прямыми 1 и 2, между которыми расположена доверительная область изменения сопротивления материала во времени. Экстраполируя прямую 1, характеризующую минимальное сопротивление, до пересечения с горизонтальной прямой R_0 , находится прогнозируемая долговечность конструкции t_n . Здесь R_0 - сопротивление материала данному виду напряженного состояния, обеспечивающее безотказную работу конструкции. Отметим, что t_n , так же как и сопротивление материала, является вероятностной величиной.

Изложенный подход был апробирован при оценке прочности и долговечности деревянных конструкций в эксплуатируемых длительное время зданиях и сооружениях / 2 /. Разработанные

на его основе рекомендации о возможности дальнейшей эксплуатации конструкций позволили в ряде случаев продлить их срок службы.



1. Складнев Н.Н. О некоторых перспективных направлениях развития теории сооружений и строительной механики // Строит. механика и расчет сооружений. - 1983. - № 3. - С.1-4.

2. Орлович Р.В. Длительная прочность и деформативность конструкций из современных древесных материалов при основных эксплуатационных воздействиях / автореф. дис. д-ра техн. наук. Л., 1991. - 50 с.