

## НАДЕЖНОСТЬ ОСНОВАНИЙ СООРУЖЕНИЙ В КРИОЛИТОЗОНЕ

А. А. Каган, Н. Ф. Кривоногова

АО ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 195220, Санкт-Петербург, Гжатская, 21, Россия

Рассматриваются принципы оценки надежности оснований сооружений, возводимых в криолитозоне, а также самих сооружений. Приводятся зависимости, описывающие условия надежности по прочности, деформируемости, водопроницаемости.

*Надежность, многолетнемерзлые грунты, предельные величины, основание сооружения, принцип строительства на многолетнемерзлых грунтах*

### RELIABILITY OF THE BASEMENT OF STRUCTURES IN CRYOLITOZONE

A. A. Kagan, N. F. Krivonogova

The B. E. Vedeneev VNIIG, Inc., 195220, St. Petersburg, Gzhatskaya st., 21, Russia

Principles of estimation of structures basement reliability and structures in cryolithozone are considered. Relationships describing conditions of reliability on strength, deformability and permeability are given.

*Reliability, permafrost, limiting value, basement of a structure, principles of building on permanently frozen grounds*

Повышение требований к качеству строительства и пристальное внимание к вопросам экологии, возникающим при строительстве и эксплуатации различных сооружений, выдвинуло в число важнейших проблем оценку надежности сооружений.

Как известно (ГОСТ 27.002-89), под надежностью объекта понимается его способность выполнять заданные функции в течение заданного срока службы.

В свою очередь надежность определяет, хотя и не полностью, безопасность объекта. Безопасность — это надежность сооружения по отношению к жизни и здоровью людей, состоянию окружающей среды и т. п. [ГОСТ 27.002-89, 1989].

В настоящее время основное внимание уделяется надежности сооружений, а не их оснований. При этом используются существующие методики предельных состояний при вероятностной трактовке исходных параметров (показателей свойств грунтов, материалов, характеристики нагрузок, воздействий и т. д.) и результаты расчетов. При учете времени прибегают к теории случайных процессов и полей, что требует несравненно большего объема исходной информации [Стефанович и др., 1991].

Условие неперевышения предельного состояния записывается в виде:

$$F(|A| - |B|) \geq 0, \quad (1)$$

где  $A$  — значение фактора, определяющего надежность сооружения;  $B$  — предельные для данного сооружения значения того же фактора.

Надежность определяется выражением:

$$H = P[F(|A| - |B|) \geq 0], \quad (2)$$

где  $P[F(|A| - |B|) \geq 0]$  — вероятность ненаступления предельного состояния.

Переходя к оценке надежности оснований, следует отметить, что среди обуславливающих ее факторов основными являются: геологическое строение, характер и степень трещиноватости для скальных грунтов, гидрогеологические условия, состав и свойства грунтов, геодинамические процессы, в том числе, сейсмичность, а для многолетнемерзлых грунтов, кроме того, температурный режим и его динамика, криогенное строение, положение, размеры, форма ареалов протаивания, криогеодинамические процессы — термокарст, пучение и т. д.

Работа основания и его надежность в общем случае оценивается показателями прочности, деформируемости и водопроницаемости, которые должны быть получены в условиях, моделирующих нагрузки и воздействия от сооружения.

Надежность основания обеспечивается при определенных значениях указанных характе-

ристик в расчетной области, определяющей работу сооружения, т. е.

$$(E - E^{np}) \geq 0, \quad (3)$$

$$(\tau - \tau^{np}) \geq 0, \quad (4)$$

$$(K_{\phi} - K_{\phi}^{np}) \leq 0, \quad (5)$$

где  $E$ ,  $\tau$ ,  $K_{\phi}$  — соответственно параметры деформируемости, прочности и водопроницаемости; индекс „np“ указывает предельную величину, при которой обеспечивается надежность. Предполагая, что указанные характеристики подчинены нормальному закону распределения случайных величин получаем:

$$H_E = \Phi \left[ \frac{E(E) - E^{np}}{\sigma(E)} \right] \geq 0, \quad (6)$$

$$H_{\tau} = \Phi \left[ \frac{E(\tau) - \tau^{np}}{\sigma(\tau)} \right] \geq 0, \quad (7)$$

$$H_{K_{\phi}} = \Phi \left[ \frac{E(K_{\phi}) - K_{\phi}^{np}}{\sigma(K_{\phi})} \right] \leq 0, \quad (8)$$

где  $\Phi[\cdot]$  — табулированная функция нормального распределения (функция Лапласа);  $E(\cdot)$ ,  $\sigma(\cdot)$  — математическое ожидание и стандарт соответствующего показателя.

В зависимости от вида, типа сооружения и конкретных инженерно-геологических условий для обеспечения надежности требуется либо совместное выполнение условий (3)—(5), либо некоторых из них.

Например, для низконапорной плотины на скальном основании достаточно выполнения условия (5), в то время как для высоконапорной плотины на любом основании необходимо соблюдение всех условий.

Для оснований, представленных многолетнемерзлыми грунтами, при осуществлении I принципа строительства обобщенной характеристикой свойств оснований является температура грунта, поскольку определенным значениям температуры соответствуют определенные значения показателей механических и фильтрационных свойств грунтов. Поэтому, принимая, что значения температуры подчиняются нормальному закону распределения случайных величин, надежность определится выражением:

$$H = \Phi \left[ \frac{t^{np} - E(t)}{\sigma(t)} \right] \leq 0, \quad (9)$$

где  $t$  — температура грунта основания;  $t^{np}$  — температура грунта основания, выше которой не обеспечивается надежность основания;  $E(t)$ ,  $\sigma(t)$  — математическое ожидание и стандарт  $t$ ;  $\Phi$  — функция Лапласа.

При строительстве по II принципу до начала протаивания для обеспечения надежности основания требуется выполнение условия (9). С повышением температуры надежность основания

может сохраняться или снижаться во времени. Во многих случаях минимальная надежность характерна для оснований в период протаивания из-за возникающей, в частности, неравномерности свойств грунта в разных точках основания. После протаивания надежность, по отношению к состоянию протаивания, как правило, возрастает. Таким образом, при оценке надежности протаивающих оснований необходимо использовать зависимости (3)—(5) для различных состояний оснований.

Одним из самых опасных криогеодинемических явлений в основаниях, способным привести к авариям сооружений, является термокарст. Возникновение и интенсификация термокарста возможны при наличии в области теплового влияния сооружения сильнольдистых грунтов или мономинеральных тел подземного льда. Отсюда вытекает, что критериями для оценки надежности оснований по отношению к термокарсту могут служить льдистость грунтов и их температура. Критические значения льдистости для различных грунтов определяются расчетом.

В основаниях крупных и достаточно протяженных сооружений (линейных, промышленных, гидротехнических) имеются области или зоны, в пределах которых наиболее часто происходят процессы, вызывающие нарушения нормального функционирования сооружения и его основания (например, примыкания грунтовых плотин к берегам, бетонным сооружениям, стыки трубопроводов, вводы сетей тепло-водоснабжения и др.) и тем самым нарушающие их надежность.

Следовательно, надежность основания оценивается прежде всего через надежность таких зон.

В связи с особой динамичностью состояния оснований в криолитозоне их надежность изменяется во времени весьма существенно. Для периодической оценки, а в необходимых случаях и для восстановления требуемого уровня надежности оснований и сооружений, особую значимость приобретает организация и проведение мониторинга систем сооружение—основание, начиная с периода инженерных изысканий, до окончания срока службы сооружения и рекультивации земель.

В процессе мониторинга мерзлых оснований фиксируется непосредственно критериальный параметр — температура, и поэтому оценка надежности производится как показано выше.

На оттаивающих основаниях наблюдаемые при мониторинге деформации, смещения, фильтрационные расходы и др. могут свидетельствовать об изменении надежности. Для суждения о снижении надежности оснований необходимо сопоставить данные мониторинга с результатами расчетов оснований. Если обнаружится, что пре-

вышены допустимые пределы деформаций, перемещений, фильтрационных потерь, то для оценки надежности следует определить показатели деформируемости, прочности, водопроницаемости, соответствующие наблюдаемому состоянию основания.

Поставленная задача может быть решена, если принять постулат: не обеспечивается надежность основания — не обеспечивается и надежность сооружения. Для обеспечения надежности сооружения необходимо, чтобы:

$$P(S_{\text{пр}} - S) \geq 0, \quad (10)$$

$$P(K_3 - 1) \geq 0, \quad (11)$$

$$P(Q_{\text{пр}} - Q) \leq 0, \quad (12)$$

где  $S_{\text{пр}}$  — осадка, предельная для данного сооружения;  $S$  — расчетная (натурная) осадка на определенный момент времени;  $K_3$  — коэффициент запаса, обеспечивающий устойчивость основания, откоса, склона и др. на определенный момент времени;  $Q_{\text{пр}}$  — предельно допустимый расход фильтрации,  $Q$  — расчетный (натурный) расход на определенный момент времени.

Все величины, входящие в выражения (10)—(12), легко рассчитываются по известным

зависимостям с использованием характеристик прочности, деформируемости, водопроницаемости грунтов. В первом приближении можно считать, что только указанные характеристики являются случайными величинами. Однако надо иметь ввиду, что результаты вычислений зависят от принятой схемы расчета.

При строительстве сооружений в криолитозоне по I принципу находятся перечисленные показатели в спектре прогнозируемых значений отрицательной температуры, и выбирается такое ее значение, при котором обеспечивается надежность основания.

Таким образом, и в этом случае значение температуры остается критериальной характеристикой надежности.

### Литература

- ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Термины и определения. М., 1989.  
 Стефанович Д. В., Шульман С. Г. Проблемы надежности гидротехнических сооружений. С.-Пб., ВНИИГ им. Б. Е. Веденеева, 1991, 51 с.

*Поступила в редакцию  
 25 июля 1997 г.*