

противление снижается от 12–16 до 9–10 Ом·м. Колебания электросопротивления в указанных пределах обусловлены величиной водоцементного отношения бетона, которое в опытах составило 0,52–0,74. Влияние подвижности бетонной смеси, измеряемой осадкой конуса, на электрическое сопротивление незначительно.

При увеличении выдержки бетонной смеси от момента ее приготовления до начала разогрева электросопротивление бетона снижается. Например, с возрастанием выдержки от 30 до 134 мин сопротивление в начальный период разогрева изменилось с 15 до 12 Ом·м; в последующий период величина снижения была несколько меньшей. Очевидно, что если в производственных условиях период времени между приготовлением и разогревом смеси не будет превышать несколько минут, заметное снижение электрического сопротивления не произойдет.

Электрическая мощность, необходимая для разогрева, пропорциональна количеству одновременно разогреваемого материала. Для обеспечения неизменного электрического напряжения потребляемая мощность в процессе разогрева должна возрастать по мере снижения электропроводности бетона. Зависимость удельной электрической мощности от интенсивности разогрева не является линейной, что указывает на влияние прочих факторов, в том числе состава и теплоемкости бетонной смеси, модуля поверхности бункера с разогреваемой смесью и интенсивности теплопередачи от бункера сосуда в окружающую среду. При интенсивностях подъема температуры выше 4 град./мин влияние перечисленных прочих факторов пренебрежимо мало.

Установлено, что испарение воды из разогреваемого бетона зависит от его температуры и продолжительности разогрева. Оно возрастает с повышением водоцементного отношения и подвижности смеси, увеличением продолжительности и предельной температуры разогрева.

С потерей воды связано снижение удобоукладываемости бетонной смеси. Специальные эксперименты показали, что наибольшее ускорение гидратации цемента происходит при разогреве бетона до температуры, превышающей 60 °C.

Снижение удобоукладываемости бетонной смеси наиболее интенсивно протекает в начальный период разогрева: в течение первых 8 мин удобоукладываемость ухудшается примерно вдвое, к 10-й минуте теряется 70 % удобоукладываемости, а к 20-й – около 80 %. Особенно быстро снижается удобоукладываемость при осуществлении перегрузок смеси. Это указывает на целесообразность обеспечения минимального интервала времени между разогревом смеси и формовкой изделий, а также сокращения количества перегрузок бетона.

Следствием снижения удобоукладываемости смеси, подвергнутой электрическому разогреву, является уменьшение ее объемной массы на 1,6–1,7 % по сравнению с непрогретой смесью. Соответствующее снижение объемной массы изделий, отформованных из разогретой смеси и подвергнутых пропариванию, достигло 0,6–2,5 %. Относительная прочность бетона в этих изделиях (в процентах к прочности контрольных образцов) составляла: в возрасте 1 сут. – 101,4–126,7 %, в возрасте 28 сут. – 100,0–109,4 %. В целом при прочих равных условиях прочность бетона, подвергавшегося разогреву, выше прочности контрольных образцов независимо от состава и подвижности смеси, условий ее электроразогрева и термообработки изделий. Наибольшая разница в прочности отмечается в раннем возрасте бетона; с течением времени это различие постепенно стглаивается.

УДК 625.17

## ОБ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

К. И. ТОМБЕРГ, П. В. КОВТУН, О. К. КЛЕЩЕНКО  
Белорусский государственный университет транспорта

Надежность и безопасность системы определяются вероятностью ее безотказного функционирования в течение заданного проектом периода исправной работы. Проблема организационно-технологической надежности связана с решением многоуровневых и многофакторных организационных задач, относящихся как к возведению объектов, так и к их содержанию в ходе эксплуатации. Надежность и безопасность эксплуатируемых объектов в значительной степени формируются на стадиях их проектирования и принятия инженерных решений по технологии и организации производства

строительных работ. Например, компенсацию будущих осадок земляного полотна в процессе его стабилизации заранее предусматривают осуществлять посредством подъемок пути на балласт.

Сложность системы железнодорожного строительства, вызванная значительным числом параллельно и последовательно связанных элементов (модулей строительной и транспортной техники, рабочих коллективов, генподрядных, субподрядных, снабженческих и др. организаций), обуславливает многочисленность факторов, дестабилизирующих производство работ, и причин отказов. Следует отметить, что в отличие от механических систем последствия отказа в организации железнодорожного строительства не всегда проявляются в остановке производства. Чаще они приводят к сбоям, которые ликвидируются аппаратом управления либо самоустраниются по ходу работ.

В проектировании процессов сооружения земляного полотна главной задачей является построение организационно-технологической модели, охватывающей структуру механизированных колонн и строительно-монтажных поездов, технических средств, а также особенности их функционирования и характер взаимодействия. Как правило, оказываются возможными альтернативные варианты построения системы управления ходом работ, допускающие возможность модификаций. Кроме того, неизбежны оперативные корректировки решений в процессе возведения объектов. При этом важно принятие обоснованных решений, касающихся последовательности строительства участков выемок, насыпей и водопропускных сооружений, выбора структуры, исполнителей и фронтов работ, привлекаемых материально-технических и людских ресурсов, функционирования служб оперативного управления и достижения запланированных показателей производственно-хозяйственной деятельности.

Отказы в транспортном строительстве, будучи случайными величинами, проявляются непрерывно или дискретно и описываются интегральными функциями (законами) распределения вероятностей. Теория и практика показывают, что наиболее совершенный охват взаимосвязей и динамики работ, а также учет влияния отдельных сбоев (отказов) на дальнейшее протекание производственных процессов достигаются использованием сетевого планирования и управления (СПУ). Очевидно, что обеспечение необходимой надежности может быть получено применением вероятностных сетевых моделей с учетом времени.

Для большей сопоставимости статистических данных в качестве случайной величины целесообразно рассматривать вероятностный коэффициент  $R$  времени выполнения производственных процессов  $t$ :

$$R(t) = t_i / t_{i,n}, \quad (1)$$

где  $t_i$ ,  $t_{i,n}$  – фактическая и нормативная продолжительности  $i$ -той работы.

Бета-распределение характерно для ситуаций, когда величина  $t_i$  определяется большим числом случайных малосущественных факторов при наличии нескольких существенных случайных факторов. Очевидно, что в ряду факторов, влияющих на возведение нижнего строения пути (климатические и грунтовые условия, степень изношенности машин, организация работ, морально-психологическое состояние рабочих и многие другие), отдельные случайные факторы (например, гарантированное снабжение топливом и запасными частями и т. п.) могут явиться более существенными, чем другие. Поэтому применение бета-распределения для характеристики продолжительности строительных работ считается достаточно обоснованным. Значения коэффициента  $R(t)$  находятся в пределах от 0,85 до 2,00 независимо от вида работ.

Алгоритм вычисления продолжительности критического пути вероятностной сетевой модели  $T$  включает в себя: генерирование псевдослучайных чисел и моделирование вероятностных значений параметра  $R$ ; вычисление вероятностных значений  $t_i$ , соответствующих им значений  $T$  и сумм дисперсий критических работ  $\sigma^2(T)$ ; после  $n$ -кратного проигрывания модели производится статистическая обработка результатов моделирования с нахождением средней вероятностной продолжительности критического пути  $T_c$  и дисперсии этой величины  $\sigma^2(T_c)$ .

Вычисление максимально и минимально возможных значений  $t_i$  на основании экспертных оценок или данных производственного опыта является достаточно сложным делом, вследствие чего величину  $R(t)$  целесообразно определять посредством имитационного моделирования по методу Монте-Карло с распределением случайных величин на ПЭВМ. По результатам расчета получено, что количество повторений  $n$  моделирования значений  $R(t)$  должно составлять не менее десяти.

Если критический путь состоит из большого числа работ, то на основании центральной предельной теоремы Ляпунова можно допустить, что результирующая длина критического пути подчиняется закону нормального распределения, который полностью характеризуется значениями параметров  $T_c$  и  $\sigma(T_c)$ . Абсолютное значение вероятного отклонения величины  $T_c$  от заданного инвестором срока строительства  $T_n$  обозначим так:

$$\delta T = |T_n - T_c|. \quad (2)$$

Вероятность  $P$  того, что разность между фактическим и ожидаемым значениями продолжительности критического пути не превысит  $\delta T$ , описывается функцией Лапласа  $\Phi_0$ :

$$P(|T_n - T_c| \leq \delta T) = \Phi_0[(T_n - T_c)/\sigma(T_c)]. \quad (3)$$

В случае, когда длительность какого-либо из подкритических путей близка к длительности критического, а суммарная дисперсия этого подкритического пути больше, чем у критического, на практике такой подкритический путь вполне может стать критическим. Очевидно, что вероятность окончания сооружения земляного полотна в срок  $T_c$  составляет 50 %. Сетевые модели считаются надежными при  $P \geq 35\%$ . Оптимальная надежность равна 50–60 %. Надежность менее 25 % считается неудовлетворительной, а более 65 % – избыточной. Довести надежность строительства и ремонтов земляного полотна до значений, близких к оптимальному интервалу надежности, можно путем варьирования количества привлекаемых ресурсов (прежде всего – рабочей силы и техники) и расходов по содержанию пути.

Определение организационно-технологической надежности и безопасности земляного полотна должно базироваться на комплексном подходе к определению эффективности всех элементов и связей этой системы при ее проектировании, строительстве и эксплуатации, а также на учете стохастического характера производственных процессов. Очевидно, что термин «надежность и безопасность земляного полотна железнодорожного пути» следует применять к результатам функционирования всей этой системы.

УДК 625.17.004.67

## ОРГАНИЗАЦИЯ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ПУТИ НА ДЛИТЕЛЬНО ЗАКРЫТОМ ПЕРЕГОНЕ

М. И. УМАНОВ

Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта

В настоящее время Украина приобретает все больше тяжелых путевых машин западного производства, в основном фирмы «Пляссер и Тойрер». Это прежде всего машина RM-80 для очистки щебня, машины ВПР-08 для выправки и рихтовки пути, ВПР-09 (09-32 GSM) для выправки и рихтовки пути, машины DGS-62N для стабилизации пути.

Эти машины способны более качественно выполнять работы, но машина RM-80 имеет существенно меньшую производительность, чем машины, которые традиционно использовались для ремонта пути (машины типа ЩОМ, УК, ВПО и др.) и в связи с этим не вписываются в рамки существующих технологических процессов ремонта пути. Кроме того, высокая стоимость этих машин требует более рационального использования их машинного ресурса, исключая или сокращая по возможности холостые пробеги этих машин.

В этой связи на Украине принято решение о приоритетном использовании таких машин на капитальном ремонте, организуемом на длительно закрытом перегоне.

Технико-экономические исследования, выполненные автором на кафедре «Путь и путевое хозяйство» ДИИТа, показали, что организация капитального ремонта пути на длительно закрытом перегоне позволяет обеспечить экономический эффект более 30 тыс. грн/км за счет экономии ресурса путевых машин, более качественного выполнения работ, экономии затрат труда на ремонт и текущее содержание пути, продления срока службы элементов верхнего строения пути.