

Значения корреляционного отношения $\rho = 0,932-0,945$ и критерия Фишера $f = 4,2-7,6$ говорят о высокой надежности математических моделей, их адекватности.

Графическая интерпретация зависимостей — параболическая поверхность. Оптимальные значения энергопотребления соответствуют M_n , равному 8,9, горизонтальный след их — прямая линия. Исследованием математических моделей 1—4 на оптимум установлено:

- 1) $t_{6,n} = 10^\circ\text{C}$, $M_n = 8,9 \text{ м}^{-1}$;
- 2) $t_{6,n} = 20^\circ\text{C}$, $M_n = 8,7 \text{ м}^{-1}$;
- 3) $t_{6,n} = 40^\circ\text{C}$, $M_n = 8,9 \text{ м}^{-1}$;
- 4) $t_{6,n} = 60^\circ\text{C}$, $M_n = 8,9 \text{ м}^{-1}$.

Предложена графическая модель, позволяющая определить эффективность термосных методов выдерживания конструкций до набора прочности 40 % от R_{28} при использовании портландцемента В25 и расходе цемента 400 кг/м³, для широкого диапазона и начальных температур бетона.

Установлена область рациональной массивности $M_n = 8-9 \text{ м}^{-1}$ монолитных конструкций, в которой обеспечен набор прочности бетоном, равный 40 % от R_{28} в температурно-влажностных условиях, принятых в данной работе. Величина M_n не зависит от расхода портландцемента В25.

ЛИТЕРАТУРА

1. СНИП III-15-76. Бетонные и железобетонные конструкции монолитные. Правила производства и приемки работ/НИИЖБ. — М., 1977. — С. 11—13. 2. Руководство по зимнему бетонированию с применением метода термоса. — М., 1975. — 174 с. 3. Б о б к о Ф. А. Исследование параметров процесса выдерживания монолитных конструкций с использованием термосных методов: Дис. ... канд. техн. наук. — Брест, 1981. — 250 С. 4. К а р п о в А. П., Б а р с к и й В. Д. Индуктивный регрессионный анализ. — Свердловск, 1976. — 45 С.

УДК 698.547.5

Е.А.ДОЛГИНИН, канд. техн. наук (ЦНИИОМТП)

О МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА БЕТОННЫХ РАБОТ БОЛЬШИХ ОБЪЕМОВ

Наибольшая эффективность использования методов прикладной математики для оптимизации производственных процессов в строительстве достигается при проектировании и возведении объектов, требующих значительных капиталовложений.

Математическое моделирование процесса производства бетонных работ больших объемов рассматривается на примере строительства гравитационных плотин. Эти инженерные сооружения входят в состав гидроэлектростанций, позволяющих наиболее рационально использовать возобновляемые источники электроэнергии.

С учетом перспективы энергетического баланса страны до 2000 г. решение поставленной задачи приобретает особую актуальность.

Среди методов возведения бетонных плотин наибольшее распространение получили: 1) возведение плотин с помощью кранов, смонтированных на генеральных отметках и охватывающих весь объем плотины; 2) с использованием кранов, перемещающихся по мере бетонирования сооружения в плане и по высоте. Это безэстакадные методы возведения с помощью башенных кранов.

В обоих случаях темпы работ, а следовательно, и продолжительность строительства зависят от последовательности бетонирования блоков, на которые расчленяется плотина в процессе возведения. Указанная зависимость в наибольшей степени наблюдается при безэстакадном методе и столбчатой разрезке на блоки бетонирования.

Это обусловлено сущностью метода, так как краны в ходе работ перемещаются по высоте и в плане по ранее забетонированным блокам, обеспечивая тем самым необходимый фронт работ.

Проведенные исследования показывают, что за счет оптимальной последовательности работ при прочих равных условиях можно значительно увеличить производительность бетоноукладочных кранов и на 10–15 % сократить сроки строительства.

Решение данной задачи является сложным ввиду ее многовариантности и может быть выполнено лишь методом динамического программирования.

Автором разработана математическая модель процесса возведения бетонных плотин безэстакадным методом с помощью самоподъемных башенных кранов, а также методика и алгоритмы оптимизации производства работ.

В качестве исследуемой системы принята бетонная плотина максимальной высотой H_{\max} , состоящая из n секций шириной b каждая, разбитых по высоте на K_0 ярусов постоянной высоты h , а в продольном направлении на столбы различной длины l_f и расположенные на плотине бетоноукладочные краны общим числом d .

На эту систему оказывает воздействие изменение числа бетоноукладочных кранов, координаты места расположения, размеры назначенных участков работ. Как показали исследования, число возможных состояний системы для реальных объектов может превышать 10^{100} . Это позволяет использовать для решения задачи шаговый метод математического программирования с ограничением числа вариантов на основе содержательного анализа технически возможных решений.

Продолжительность возведения бетонной плотины зависит от числа бетоноукладочных кранов и их производительности.

В процессе возведения плотины эти факторы постоянно изменяются.

Разделим полную продолжительность строительства на интервалы времени, в течение которых каждый из этих факторов остается неизменным. Число этих интервалов — шагов процесса возведения обозначены z_0 .

Все изменения факторов будут происходить лишь на границах этих интервалов z -го шага к $z + 1$ -му.

Исходя из поставленной задачи, целевая функция определится в виде

$$T = \sum_{z=1}^{z_0} T_z = \sum_{z=1}^{z_0} \frac{V_z}{q_1 \sum_{\rho=1}^{\rho} K_{yz}(\rho) K_{opz}(\rho) K_{\theta z}(\rho)} \rightarrow \min,$$

где V_z — объем бетона, укладываемый в плотину на z -м шаге процесса; T_z — продолжительность z -го шага процесса; $K_{yz}(\rho)$, $K_{opz}(\rho)$ — коэффициенты, учитывающие условия $K_{\theta z}(\rho)$ работы, наличие фронта работ и специфику блоков бетонирования для ρ -го крана на z -м шаге процесса.

Состояние системы на произвольном z -м шаге процесса характеризуется вектором $\rho^z = \rho^z (\rho_1^z, \rho_2^z \dots \rho_i^z \dots \rho_n^z)$. Очевидно, что в каждый момент времени существует множество путей продолжения строительства. Выбор одного из них осуществляется вектором управления $V^z = V^z (V_1^z, V_2^z \dots V_i^z \dots V_n^z)$, под которым понимается пара последовательностей (φ_p^z, ψ_i^z) , где φ_p^z участки работы кранов, определяемые номерами секций, которые обслуживаются данными кранами ($\rho = 1, 2, \dots, d$); ψ_i^z — параметр, характеризующий возможность производства работ на данной секции ($i = 1, 2, \dots, n$).

Таким образом, зная векторы состояния системы ρ^z и управления V^z , определим продолжительность текущего z -го шага

$$T_z = T(\rho^z, V^z)$$

и состояние системы на следующем $z + 1$ -м шаге:

$$\rho^{z+1} = F(\rho^z, V^z).$$

Продлав в указанной последовательности вычисления для всех шагов процесса возведения плотины с учетом необходимых технологических ограничений, получим допустимую стратегию управления $V^1, V^2, \dots, V^z, \dots, V^{z_0}$.

Оптимальная стратегия управления достигается путем изменения (последовательным приближением) в определенном порядке участков плотины, отведенных для работы кранов. В качестве промежуточного критерия оптимальности используется минимальное время окончания заданного этапа работ.

При решении целевой функции для сокращения числа вариантов с учетом возможностей ЭВМ был выполнен их анализ. Это позволило, во-первых, из множества промежуточных состояний системы принимать во внимание только те, которые характеризуются выполнением определенных этапов работ или созданием новых условий их производства, влияющих на производительность кранов. Во-вторых, разработать комплекс типовых ситуаций, характеризующих определенными состояниями системы, и соответствующих им типовых вариантов управления.

Разработаны следующие алгоритмы решения задач оптимизации производства работ при возведении плотины: 1) расчет геометрических характеристик сооружений и объемов работ; 2) выбор методов производства работ; 3) оптимизация последовательности возведения объекта.

Программа для решения задачи на ЭВМ УВК СМ-4 разработана на языке ФОРТРАН передана в Государственный фонд алгоритмов и программ.

Математическая модель процесса выполнения бетонных работ больших объемов и методика оптимизации могут быть применены как при проектировании организации строительства плотин, так и крупных промышленных объектов. Она также может быть использована для управления ходом строительства объектов, календарного планирования работ, распределения ресурсов и решения других производственных задач.

УДК 69.039.002.05

О.И.ВЕРХОВЦОВ, М.П.КОНДРАТИН (БПИ)

К ВОПРОСУ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА СТРОИТЕЛЬНОЙ ПЛОЩАДКЕ

Разработана и одобрена ЦК КПБ республиканская комплексная программа "Интенсификация". В ее решении большая роль принадлежит дальнейшей индустриализации строительства на основе всемерного расширения заводского производства строительных конструкций и развития сборного строительства.

Как показывает практика, многие технологические процессы, протекающие непосредственно на строительной площадке, требуют значительных трудовых затрат. Интенсификация наиболее распространенных технологических процессов на основе использования индустриальных методов их выполнения является существенным резервом повышения производительности труда. К ним относятся бетонные и железобетонные работы. Объемы применения бетона и железобетона в нашей стране составляют более 30 % от всей массы строительных материалов и конструкций. По данным ЦСУ СССР в XI пятилетке объем производства бетона и железобетона достиг 240 млн м³. При этом почти половину составляет монолитный бетон.

Уровень технической и технологической оснащенности бетонных работ пока не отвечает требованиям современного строительства. Так, при производстве бетонных работ доля ручного труда достигает 50 %. В комплексе трудовых затрат на распределение и уплотнение бетонной смеси приходится наибольшая часть — 58 % от общих затрат и 34,6 при ручных операциях [1].

Это дает основание считать, что индустриальные методы внутриобъектного транспорта и укладки бетонной смеси позволят существенно повысить эффективность бетонных работ. Наиболее распространенный порционный метод укладки с использованием кранов и бадей не экономичен. При большой стоимости машино-смены крана время на укладку смеси составляет 20%. Кроме того, трудно обеспечить равномерность распределения бетонной смеси, а также имеют место значительные ее потери при перегрузках и высокая трудоемкость ряда других операций.

Поэтому перспективным направлением совершенствования технологии бетонных работ является непрерывное транспортирование смеси к месту укладки.