

ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СТРОИТЕЛЬСТВА И ВОССТАНОВЛЕНИЯ МОРОЗОСТОЙКИХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СООРУЖЕНИЙ

В работе показана возможность установления закономерностей организационно-технологических параметров, обеспечивающих существенное повышение морозостойкости поверхностного слоя в бетоне при его формировании, в процессе строительства и восстановления любых железобетонных сооружений, с применением методов программирования. Необходимость применения автоматизированных методов расчета обусловлена разнообразием бетонируемых сооружений: линейно-протяженных, рассредоточенных и т.д., а при их восстановлении – разнообразием степени их разрушения и трудоемкости восстановления.

Ключевые слова: бетон, поверхностный слой, автоматизированные методы расчета

Актуальность работы и постановка проблемы

Диссертационная работа выполнена в связи с существующей в Украине проблемой – восстановления эксплуатационной долговечности разрушающихся железобетонных автомобильных и железнодорожных мостов, переездов, дорожных и аэродромных покрытий, морских и других сооружений, работающих в условиях знакопеременных атмосферных воздействий. Значительное количество построенных железобетонных сооружений уже через 20...30 лет эксплуатации разрушаются и требуют восстановления несущей способности. Разрушение начинается с поверхностного слоя бетона, увеличиваясь в глубину конструкции. Происходит коррозия несущей арматуры и потеря ее несущей способности. Необходимость получения гарантированной высокой морозостойкости бетона обусловлена тем, что потеря его прочности, даже в небольшом числе конструкций, приводит к значительному снижению эксплуатационной надежности сооружений в целом. Проблему существенного повышения морозостойкости бетона при строительстве и восстановлении железобетонных сооружений можно решить путем формирования высокоморозостойкого поверхностного слоя в бетоне, применяя новые и усовершенствованные организационно-технологические решения производства работ и высокоморозостойкие составы бетона.

Анализ проведенных в последние годы исследований

Исследования, представленные в настоящей статье идут в развитие научно-прикладной теории, изложенной в работе [1]. Других исследований в области комплексного решения проблемы существенного повышения морозостойкости бетона конструкций и сооружений при их стро-

ительстве, ремонте и восстановлении, путем формирования высокоморозостойкого поверхностного слоя в бетоне не проводилось [2-9].

Цель настоящей статьи – показать возможность установления закономерностей организационно-технологических параметров, обеспечивающих существенное повышение морозостойкости поверхностного слоя в бетоне при его формировании, в процессе строительства и восстановления железобетонных сооружений, с применением методов программирования. Необходимость применения автоматизированных методов расчета обусловлена разнообразием бетонируемых сооружений: линейно-протяженных, рассредоточенных и т.д., а при их восстановлении – разнообразием степени их разрушения и трудоемкости восстановления.

Изложение основного материала

Организационно-технологические решения производства работ по формированию высокоморозостойкого поверхностного слоя в бетоне при строительстве и восстановлении железобетонных сооружений, должны быть разработаны с учетом необходимости образования, модифицированной комплексными химическими добавками, компенсирующей процессы льдообразования переходной зоны между слоями бетонных смесей, что обеспечит их работу в эксплуатационных условиях как структурно-целостного материала. Для этого должны быть определены: методы послойной укладки бетонных смесей, состав, последовательность выполнения работ и их качество, а также строгие временные параметры, определяющие начало и окончание работ каждого процесса, с разработкой вариантов организации специализированного потока производства работ, в зависимости от их объема и типа применяемых машин и ме-

ханизмов. А высокой морозостойкости бетона поверхностного слоя можно достичь путем применения новых методов оценки качества исходных материалов, составления комплексных химических добавок и определения состава морозостойких бетонов. Исходные материалы высокого качества для приготовления бетона: цемент, мелкий и крупный заполнитель, должны иметь наименьшее значение водопотребности (отвлечение «на себя» жидкой фазы затворения бетонной смеси). Комплексные химические добавки должны быть составлены из суперпластификаторов, гидрофобизаторов и латексов – водных эмульсий искусственных полимеров. При этом они должны обеспечивать минимально возможное значение нормальной плотности цементного теста, а в структуре бетона минимальную: открытую пористость, водонасыщаемость, льдообразование и деформативность при замораживании в водонасыщенном состоянии. Определение морозостойких составов бетона следует производить на основе характеристик бетонных смесей, определяющих условия их приготовления, доставки, укладки и уплотнения, а также эксплуатационные свойства бетона: прочность, морозостойкость и др. Наиболее приемлемыми в этом плане являются такие характеристики бетонных смесей как: концентрация цемента, концентрация жидкой фазы и коэффициент нормальной плотности цементного теста.

Разработанные параметры организационно-технологических решений формирования высокоморозостойкого слоя в бетоне, обеспечивающие его высокую морозостойкость, удается соблюдать практически при выполнении любых объемов работ. Для этих целей автором работы предложены специальные программы, суть которых заключается в следующем.

При проектировании организационно-технологических параметров восстановления железобетонных сооружений, в зависимости от степени их разрушения и объема работ, решаем следующие задачи:

Разрабатываем алгоритм расчета продолжительности частных технологических процессов, составляющих комплексный технологический процесс восстановления железобетонных сооружений методом мокрого торкретирования и производных параметров, таких как: количество делянок в смену; площадь делянки, m^2 ; объем работ и объем бетонной смеси за смену.

Самое важное в условии этой задачи – необходимость учета технологических требований к выполнению частных технологических процессов: их качеству; продолжительности; последовательности; соблюдению времени по минутам, между отдельными процессами; определения

необходимого качества исходных материалов и состава бетона; учету сроков схватывания цементного теста в бетонной смеси; количеству отскока; степени разрушения железобетонного сооружения, категории трудоемкости его восстановления; мощности для производства работ и др.

Основное требование соблюдения этих условий обеспечит технологию формирования высокоморозостойкого поверхностного слоя в бетоне с образованием компенсирующего переходного слоя в восстанавливаемом бетоне, пропитанным комплексной химической добавкой, и слоем срастания активированного цементного камня, в восстанавливаемом бетоне, с цементом нового, восстановленного слоя бетона. Только соблюдение этих технологических и организационных условий обеспечит совместную работу слоев бетона как структурно-целостного материала.

Разрабатываем приложение Excel, с использованием языка программирования VBA для автоматизированного расчета сменного задания.

Алгоритм расчета представляем как решение задачи линейного программирования методом последовательного перебора допустимых значений переменных.

Содержательная постановка задачи.

Рассмотрим процесс восстановления железобетонного сооружения в следующих условиях:

Определена степень разрушения поверхностного слоя бетона, на основании которой рассчитана трудоемкость работ в маш. часах на единицу измерения ведущей машины.

Определен объем работ.

Определена технология производства работ: состав и последовательность выполнения работ; условия взаимодействия между работами; сроки начала и окончания схватывания цементного теста в бетонной смеси. То есть, учитываем все необходимые условия технологии производства работ, обеспечивающие совместную работу слоев бетона как структурно-целостного материала.

Необходимо определить поминутный график производства работ и объем сменной выработки в m^2 .

Алгоритм расчета.

Сменное задание делится на делянки. Задаем площадь делянки как целевую функцию $S_{\text{опт}}$, m^2 .

Определяем длительность работ на делянке: Опескоструивание (t_1); продувка горячим воздухом (t_2); пропитка бетона водным раствором

комплекса химических добавок (t_3); торкретирование (t_4).

Определяем суммарную продолжительность работ на делянке (T)

$$T = t_1 + t_2 + 3 \cdot t_3 + 2 \cdot t_4 + t_5, \quad (1)$$

где $3 \cdot t_3$ – последовательно пропитываем поверхность бетона три раза; $2 \cdot t_4$ – вторая степень разрушения поверхностного слоя бетона, торкретируем в два слоя; t_5 – время технологического перерыва между торкретированием первого и второго слоя, которое зависит от сроков начала и окончания схватывания цементного теста в бетонной смеси.

Ищем максимум значения целевой функции $S_{\text{опт}}$ на области допустимых значений.

Определяем количество делянок в $\frac{1}{2}$ смену ($N_{\text{дел.}}$)

$$N_{\text{дел.}} = \frac{247,5 - (t_1 + t_2 + t_3)}{2 \cdot t_4 + t_5}, \quad (2)$$

где 247,5 – время работы в течение $\frac{1}{2}$ смены, мин.

Округлим $N_{\text{дел.}}$ вниз, до целых. Если образуется излишек времени, вводим дополнительный технологический перерыв между делянками.

Определяем количество делянок в смену ($N_{\text{см}}$)

$$N_{\text{см}} = 2 \cdot N_{\text{дел.}} \quad (3)$$

Определяем площадь восстанавливаемой поверхности, в данном примере второй степени разрушения поверхностного слоя бетона, за смену (S)

$$S = S_{\text{опт.}} \cdot N_{\text{см}} \quad (4)$$

Определяем необходимый объем бетонной смеси $V_{\text{бс}}$, с учетом ее уплотнения и отскока в процессе торкретирования

$$V = S \cdot h \cdot K_1 \cdot K_2, \quad (5)$$

где h – толщина слоя; K_1 – коэффициент на уплотнение; K_2 – коэффициент отскока, в зависимости от степени разрушения восстанавливаемой поверхности.

Затем, определяем количество бетонной смеси, необходимой на восстановление всего объекта.

С помощью специально разработанной программы создаем приложение Excel, и определяем количественные значения рассматриваемых

параметров, по введенным конкретным исходным данным, с учетом коэффициента трудоемкости работ, определяемого степенью разрушения поверхностного слоя бетона. Автоматически выдается и график производства работ на делянках и захватке в целом.

При проектировании организационно-технологических параметров строительства железобетонных сооружений, в зависимости от их вида и объема (сосредоточенные, рассредоточенные объекты, линейно-протяженные и т. д.) решаем следующие задачи:

Разрабатывается алгоритм расчета потребности в машинах и механизмах по конкретным исходным данным.

Разрабатывается приложение Excel с использованием языка программирования VBA, для автоматизированного расчета параметров организационных решений.

Устанавливаются сроки строительства, то есть определено количество доступных рабочих смен, с учетом выходных, праздничных и непогодных дней. В этом случае рассчитывается количество маш. смен и механизмов, а также состав комплексной бригады, необходимой для выполнения заданного объема работ в заданные сроки.

Решение поставленной задачи рассмотрим на примере строительства автомобильной дороги с жестким бетонным покрытием с высокоморозостойким поверхностным слоем бетона.

В данной задаче, технологический процесс бетонирования жесткого дорожного покрытия рассматривается как самостоятельный комплексный технологический процесс и рассматривается как ведущий. Все работы: подготовительные; земляные; устройство дорожного основания и др., выполняются самостоятельными частными потоками, предшествующими ведущему комплексному технологическому процессу, в настоящей задаче не рассматриваются.

Решение ситуативной задачи по определению оптимальных организационных параметров бетонирования дорожного покрытия с высокоморозостойким поверхностным слоем бетона сводится к определению конкретных требуемых значений. При этом определяется оптимальное расстояние между стоянками циклично перемещающегося бетонного мини-завода и его расстояние от бетонируемого дорожного полотна, при котором стоимость доставки бетонной смеси стремится к минимуму.

Алгоритм расчета. На основании исходных данных и директивных сроков строительства, определяется количество доступных смен ($T_{\text{см. дост.}}$). С учетом выходных, праздничных и непогодных дней. Определяем необходимое

количество постоянно работающих бетоноукладчиков ($N_{\text{бy}}$)

$$N_{\text{бy}} = \frac{L \cdot d_1 \cdot d_2 \cdot K}{P_{\text{бy}} \cdot T_{\text{см.дост.}}}, \quad (6)$$

где L, d_1, d_2 , соответственно: длина, ширина и толщина дорожного полотна; $K = 1,05$ – коэффициент увеличения требуемого расхода бетонной смеси, в связи с ее уплотнением; $P_{\text{бy}}$ – необходимая сменная производительность бетоноукладчиков.

Полученное число $N_{\text{бy}}$, округляем вверх, с увеличением до целого числа и пересчитываем количество смен, которое необходимо отработать комплексу бетоноукладчиков для бетонирования всего дорожного полотна ($T_{\text{см.ф.}} \leq T_{\text{дост.}}$)

$$T_{\text{см.ф.}} = \frac{L \cdot d_1 \cdot d_2 \cdot K}{P_{\text{бy}} \cdot N_{\text{бy}}}. \quad (7)$$

Учитываем простои, связанные с перемещением бетонного мини-завода ($T_{\text{п}}$)

$$T_{\text{п}} = T_{\text{см.ф.}} + \frac{L}{l_1} \cdot T_{\text{пер}} \leq T_{\text{см.дост.}}, \quad (8)$$

где $\frac{L}{l_1}$ – количество перемещений (l_1 – длина участка дороги, бетонируемая с одной стоянки бетонного мини-завода); $T_{\text{пер}}$ – количество смен, необходимых для одного перемещения (принимая одну смену). Стоимость доставки бетонной смеси для бетонирования дорожного полотна всей дороги (F) определяется формулой

$$F = N_{\text{бв}} \cdot T_{\text{см.ф.}} \cdot C_{\text{бв}} + \frac{L}{l_1} \cdot C_{\text{пер.}}, \quad (9)$$

где $N_{\text{бв}}$ – количество бетоновозов; $C_{\text{бв}}$ – сменная стоимость бетоновоза; $C_{\text{пер.}}$ – стоимость перемещения бетонного мини-завода.

В этой формуле, величина l_1 – является переменной. Следует определить ее оптимальное значение, при которой F будет минимальна. Для этого, производим расчет потребности в транспортных средствах, то есть в бетоновозах.

Учитывая, что объем бетона, требующегося для укладки первого слоя составляет до 70 % от общего объема бетона, расчет потребности в бетоновозах ведем для наиболее загруженной

части смены. То есть $\frac{1}{2}$ времени смены, когда укладываем первый слой.

Определяем количество бетонной смеси Q , которое требуется перевезти ко всем бетоноукладчикам за время, равное $\frac{1}{2}$ смены, при бетонировании нижнего слоя

$$Q = \frac{d_{\text{н}}}{100} \cdot P_{\text{бy}} \cdot N_{\text{бy}}, \quad (10)$$

где $d_{\text{н}}$ – толщина нижнего слоя, в %.

Далее определяем время в часах ($T_{N_x N_{\text{бy}}}$) необходимое, чтобы выполнить все ходки бетоновозов ко всем бетоноукладчикам

$$T_{N_x N_{\text{бy}}} = N_x \cdot N_{\text{бy}} \cdot (2 \cdot t_1 + 2 \cdot t_2) + \frac{S}{1000 \cdot v}, \quad (11)$$

где N_x – количество ходок к одному бетоноукладчику; $N_{\text{бy}}$ – количество бетоноукладчиков; t_1 – время погрузки-разгрузки; t_2 – время маневра; v – средняя скорость по объекту; S – суммарный пробег бетоновозов за время $\frac{1}{2}$ наиболее загруженной смены ко всем бетоноукладчикам.

Определяем S как функцию номера ходки, смены и бетоноукладчика

$$S = f(n_x, n_{\text{см.}}, n_{\text{бy}}), \quad (12)$$

где $n_x, n_{\text{см.}}, n_{\text{бy}}$ – номера ходки, смен и бетоноукладчика, соответственно, на участке, обслуживаемом с одной стоянки бетонного мини-завода.

Ищем максимальное значение функции на области допустимых значений. Затем определяем количество машино-смен бетоновозов ($T_{\text{бв}}$), при укладке нижнего слоя бетона, то есть за время, равное $\frac{1}{2}$ смены

$$T_{\text{бв}} = \frac{T_{N_x N_{\text{бy}}}}{7,8}. \quad (13)$$

Общее количество бетоновозов ($N_{\text{бв}}$), необходимых для обеспечения непрерывного цикла производства работ в течении рабочей смены, составит $N_{\text{бв}} = 2 \cdot T_{\text{бв}}$. Затем подставляем значение $N_{\text{бв}}$ в формулу 9 и определяем l_1 , при котором целевая функция $F \rightarrow \min$.

На основании разработанного алгоритма расчета создаем приложение Excel и определяем числовые значения организационных параметров по введенным конкретным исходным данным, путем автоматизированного расчета исходных данных, с помощью специально разработанной программы.

Выводы

В работе показана возможность проектирования организационно-технологических параметров формирования высокоморозостойкого поверхностного слоя в бетоне при строительстве и восстановлении любых железобетонных сооружений, с применением методов автоматизированного расчета.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чуб, А. А. Основы технологии ремонта и строительства бетонных железобетонных сооружений с высокоморозостойким поверхностным слоем: монография [Текст] / А. А. Чуб. – Запорожье: ЗГИА, 2010. – 360 с.
2. Руководство по применению торкрет-бетона при возведении, ремонте и восстановлении строительных конструкций зданий и сооружений [Текст]. – М.: ОАО ЦНИИПромиздат, 2007. – 31 с.
3. ТУ 5745-001-16216892-06. Торкрет-бетон [Текст]. – М.: ЗАО «Служба защиты сооружений», 2006. – 10 с.
4. Мазурак, А. В. Вплив технологічних чинників на міцність торкрет-бетону [Текст] / А. В. Мазурак, Я. А. Балабух // Вестник, Львівська політехніка, № 655. – Л.: ЛПУ, 2009. – С. 34–39.

5. Коваль, П. М. Оцінка зчеплення торкрет-бетону при ремонті бетонних та залізобетонних конструкцій [Текст] / П. М. Коваль, А. Є. Фаль, А. В. Мазурак // Зб. «Дороги і мости», вип. 11. – К.: ДерждорНДІ, 2009. – С. 157-163.
6. Васильев, А. П. Строительство и реконструкция автомобильных дорог. Справочная энциклопедия дорожника (СЭД) [Текст] / А. П. Васильев, Б. С. Марышев, В. В. Силкин [и др.]. – М.: Информавтор, 2005. – Т. 1 – 185 с.
7. Горельшев, Н. В. Технология и организация строительства автомобильных дорог [Текст] / Н. В. Горельшев, С. М. Полосин-Никитин, М. С. Коганзон [и др.]. – М.: Транспорт, 1992. – 552 с.
8. Автомобильные дороги России на рубеже веков. Цифры и факты: справ.-ил. материал [Текст] / Гос. служба дор. хоз-ва (Росавтодор) Минтранса России. – М., 2001. – 125 с.
9. Могила, Ю. В. Формування концепції ситуативного управління будівництвом монолітних залізобетонних житлових споруд в Україні [Текст] / Ю. В. Могила // Містобудування та територіальне планування. – К.: КНУБА, 2009. – Вип. 34. – С. 213-217.

Поступила в редколлегию 01.03.2012.

Принята к печати 15.03.2012.

А. А. ЧУБ (Запорізька державна інженерна академія)

ПРИНЦИПИ АВТОМАТИЗОВАНОГО РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ БУДІВНИЦТВА І ВІДНОВЛЕННЯ МОРОЗОСТІЙКИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СПОРУД

У роботі показана можливість встановлення закономірностей організаційно-технологічних параметрів, що забезпечують істотне підвищення морозостійкості поверхневого шару в бетоні при його формуванні, в процесі будівництва і відновлення будь-яких залізобетонних споруд, із застосуванням методів програмування. Необхідність застосування автоматизованих методів розрахунку обумовлена різноманітністю бетонів споруд: лінійно-протяжних, розосереджених і т.д., а при їх відновленні – різноманітністю ступеня їх руйнування і трудомісткості відновлення.

Ключові слова: бетон, поверхневий шар, автоматизовані методи розрахунку

А. А. ТСНУВ (Zaporozhye State Engineering Academy)

PRINCIPLES OF THE AUTOMATED CALCULATION OF PARAMETERS OF BUILDING AND RENEWAL OF FROST-HARDY REINFORCED CONCRETE BUILDING

The article shows the possibility of establishing patterns of organizational and technological parameters that provide a significant increase in the surface layer of frost resistance in concrete during its formation, in the process of construction and restoration of any reinforced concrete structures, using the methods of programming. The need for an automated method of calculation due to the diversity of concreted structures: linearly-extended, scattered, etc., and in their recovery – the degree of diversity and complexity of their failure recovery.

Keywords: concrete, superficial layer, automated methods of calculation