

Геннадий Васильевич ЗЕМЛЯКОВ, проректор Белорусского национального технического университета, кандидат технических наук, доцент кафедры "Организация строительства и управление недвижимостью"

Алексей Александрович ЛОЗОВСКИЙ, инженер, старший преподаватель кафедры "Организация строительства и управление недвижимостью" Белорусского национального технического университета

СНИЖЕНИЕ ЗАТРАТ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОННЫХ МОНОЛИТНЫХ РАБОТ В ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

THE DECREASING TECHNOLOGIES OF ENERGY-PRODUCING RESOURCES CONSUMPTION IN PRODUCTION OF CONCRETE MONOLITHIC WORKS UNDER WINTER CONDITIONS

В статье рассмотрена проблема энергосбережения в строительном производстве при выполнении бетонных монолитных работ. Представлены начальные расчетные данные, позволяющие производить оптимизацию энергозатрат в процессе производства бетонных работ.

This article presents the energy-saving technologies in Building Industry when concrete monolithic works are carried out. Elementary calculation data are presented there, which allow to produce optimization of energy consumption in the process of concrete works.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время к проблеме энергосбережения в строительстве обращено широкое внимание. Практически на всех предприятиях отрасли ведется работа по энергоэффективности. Большой потенциал экономии энергоресурсов сосредоточен при выполнении "мокрых", в том числе бетонных, работ в зимних условиях, которые являются наиболее энергоемкими в строительном производстве.

ЗАТРАТЫ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ В МОНОЛИТНОМ БЕТОНИРОВАНИИ

Расход топливно-энергетических ресурсов (далее — ТЭР) в строительном производстве зависит от многих факторов, наиболее значимым из которых является температурный (погодный) фактор. В условиях низких отрицательных температур (в зимних условиях) затраты энергоресурсов на технологические нужды значительно возрастают (рис. 1) [1].

Подгруппа расхода ТЭР при выполнении бетонных монолитных работ имеет большой удельный вес, а с учетом того, что объем таких работ ежегодно увеличивается, проблема экономии энергоресурсов в монолитном бетонировании становится наиболее актуальной.

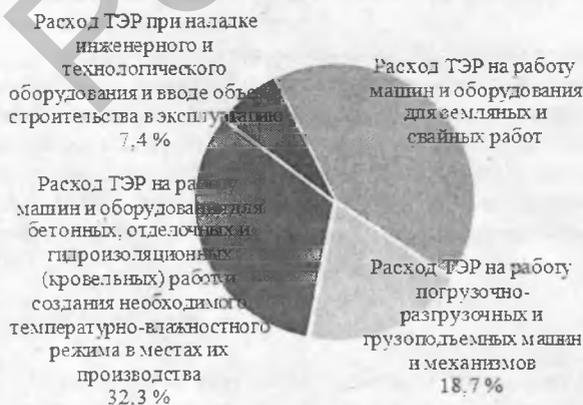


Рис. 1. Структура расхода ТЭР на технологические нужды

В каждом конкретном случае выбор энергосберегающих организационно-технологических методов в процессе монолитного бетонирования осуществляется с учетом многих факторов, основными из которых являются состав бетона, модуль поверхности конструктивных элементов, температура наружного воздуха, требуемая распалубочная прочность и т. д.

При исследовании проблемы снижения затрат ТЭР в процессе монолитного бетонирования рассматривали различные по размерам и массивности конструкции: фундаменты (ленточные, столбчатые), ростверки, стены, балки, плиты перекрытий и покрытия. Учет расхода энергоресурсов осуществляли на протяжении всего технологического цикла, включающего следующие этапы:

- подбор состава бетона;
- подогрев заполнителей и воды;
- перемешивание бетонной смеси;
- загрузка бетонной смеси в транспортные средства;
- транспортирование бетонной смеси;
- подача бетонной смеси к месту укладки;
- укладка и уплотнение бетонной смеси;
- очистка опалубки от снега и наледи;
- отогрев арматуры до положительной температуры;
- тепловая обработка бетона.

Для исследования указанной проблемы был проведен мониторинг расхода ТЭР на различных строительных объектах [2]. Анализ результатов показал, что на рассмотренных этапах имеются возможности экономии энергоресурсов при выполнении монолитных работ в условиях отрицательных температур [3–5].

Большое значение на величину расхода энергоресурсов имеет рациональный подбор состава бетона, осуществляемого строительной лабораторией. При этом особая роль отводится введению в состав бетонной смеси различных добавок, снижающих или вообще исключающих расход энергоресурсов. Оптимизация подбора состава позволяет также повысить качество бетона за счет рационализации гранулометрического состава заполнителей.

В процессе приготовления бетонной смеси ТЭР расходуются на оттаивание и подогрев крупного и мелкого заполнителей и воды затворения бетонной смеси, их транспортирование и загрузку в бетоносмесительные установки, а также на энергообеспечение самого процесса перемешивания [6].

Перед началом приготовления бетонной смеси в зимних условиях ее компоненты подогреваются. Температура воды и заполнителей в момент их загрузки должна обеспечить заданную температуру бетонной смеси при выходе из бетоносмесителя. Для этой цели заполнители и вода для затворения бетона подогреваются с учетом будущих теплопотерь во время приготовления, транспортирования и укладки бетонной смеси. Некоторый запас тепла необходим также для компенсации потерь тепла, происходящих в период от момента укладки смеси до начала прогрева, а при методе термоса — в течение всего периода выдерживания бетона [6].

В зимнее время продолжительность перемешивания бетонной смеси увеличивается примерно в 1,5 раза по сравнению с летними условиями. Кроме того, требуются дополнительные энергозатраты на обогрев барабана бетоносмесителя после перерывов в работе и на обогрев помещения бетонного завода, температура в котором должна быть не ниже 10 °С–15 °С.

На практике используются различные способы подогрева воды и заполнителей. Подогрев воды обычно осуществляется паром в аппаратах-водонагревателях. Для подогрева заполнителей на практике применяется большое количество различных одно- и многоступенчатых методов. Для этой цели обычно используется острый пар, который пускается по трубам в массив заполнителя, или же закрытый пар, циркулирующий по специальным регистрам. Наиболее экономичными являются устройства, в которых заполнители непосредственно соприкасаются с топочными газами с температурой до 800 °С, и их подогрев на 40 °С происходит за 6–8 минут.

Некоторые потери тепла происходят в период загрузки бетонной смесью транспортных средств. Величина этих потерь зависит от многих факторов, основными из которых являются:

- продолжительность загрузки транспортного средства;
- разность температур бетонной смеси и наружного воздуха;
- тип транспортного средства.

Расчетная величина снижения температуры бетонной смеси в процессе загрузки транспортных средств в зависимости от комплексного воздействия указанных факторов для условий Беларуси колеблется от 0,03 °С до 0,30 °С. Для снижения теплопотерь при загрузке транспортных средств могут быть реализованы следующие мероприятия:

- сокращение времени приготовления бетонной смеси, в том числе за счет увеличения производительности бетоносмесительных устройств;

- повышение теплозащитных свойств загружаемых транспортных средств;

- принятие мер по уменьшению ветровой нагрузки на загружаемые транспортные средства;

- четкая организация процесса приготовления бетонной смеси и ее загрузки в транспортные средства.

Большие затраты энергоресурсов происходят в периоды от транспортирования бетонной смеси до начала ее тепловой обработки.

Снижение температуры бетонной смеси в процессе ее транспортирования зависит от многих факторов, основными из которых являются:

- вид транспортного средства и степень теплоизоляции перевозимой бетонной смеси;

- величина разности температур бетонной смеси и наружного воздуха;

- продолжительность транспортирования смеси.

В зависимости от вида используемого транспортного средства потери тепла могут колебаться в значительных пределах. Мониторинг за работой по монолитному бетонированию показал, что фактическая продолжительность транспортирования бетонной смеси в условиях г. Минска отличается от расчетной. В дневное время на отдельных направлениях были случаи превышения расчетного времени транспортирования смеси на 75 %, а в вечернее и ночное время — значительное сокращение. Основными факторами, влияющими на снижение температуры транспортируемой бетонной смеси, являются:

- вид и емкость транспортного средства;

- теплоизоляция транспортного средства;

- расстояние транспортирования смеси;

- качество дорожного покрытия;

- разрешенная скорость движения;

- организация дорожного движения;

- время суток;

- параметры наружного воздуха (температура, скорость движения, относительная влажность);

- температура бетонной смеси;

- четкость организации технологического процесса и др.

На основе проведенных расчетов и результатов мониторинга получены данные о допустимых значениях снижения температуры транспортируемой бетонной

Таблица 1. Снижение температуры бетонной смеси в процессе транспортирования

Время транспортирования, мин	Величина снижения температуры смеси при разных значениях $\Delta t = t_b - t_n$					
	5	10	15	20	30	40
Самосвалами						
10	0,13–0,15	0,25–0,30	0,38–0,45	0,50–0,60	0,75–0,90	1,00–1,20
20	0,25–0,30	0,50–0,60	0,75–0,90	1,00–1,20	1,50–1,80	2,00–2,40
30	0,38–0,45	0,75–0,90	1,13–1,35	1,50–1,80	2,25–2,70	3,00–3,60
40	0,50–0,60	1,00–1,20	1,50–1,80	2,00–2,40	3,00–3,60	4,00–4,80
Теплоизолированными автобетоновозами						
10	0,011	0,022	0,033	0,044	0,066	0,088
20	0,022	0,044	0,066	0,088	0,132	0,176
30	0,033	0,066	0,099	0,132	0,198	0,264
40	0,044	0,088	0,132	0,176	0,264	0,352
Теплоизолированными бетоносмесителями						
10	0,05–0,12	0,10–0,24	0,15–0,36	0,20–0,48	0,30–0,77	0,40–0,96
20	0,10–0,24	0,20–0,48	0,30–0,72	0,40–0,96	0,60–1,44	0,80–1,92
30	0,15–0,36	0,30–0,72	0,45–1,08	0,60–1,44	0,90–0,16	1,20–2,88
40	0,20–0,48	0,40–0,96	0,60–1,44	0,80–1,92	1,20–2,88	1,60–3,84

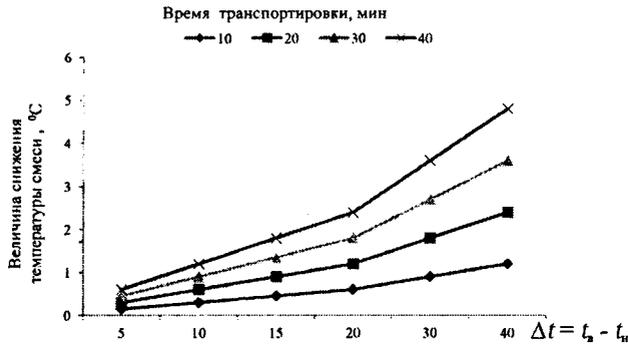


Рис. 2. Зависимость снижения температуры смеси от времени транспортирования самосвалами

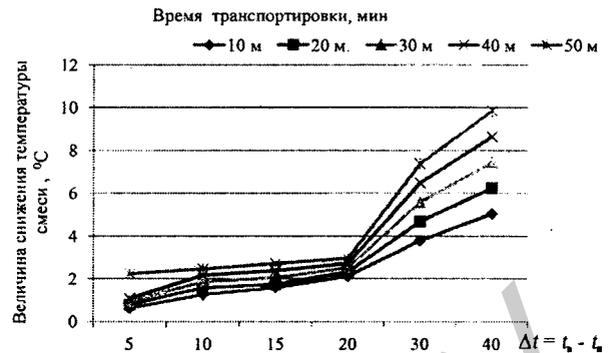


Рис. 5. Зависимость снижения температуры смеси от расстояния транспортирования при подаче к месту укладки

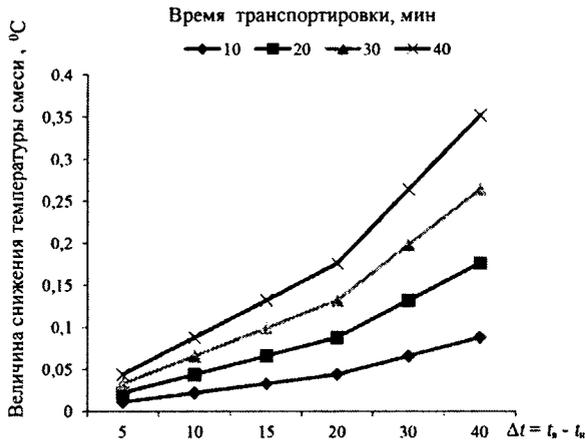


Рис. 3. Зависимость снижения температуры смеси от времени транспортирования теплоизолированными автобетоновозами

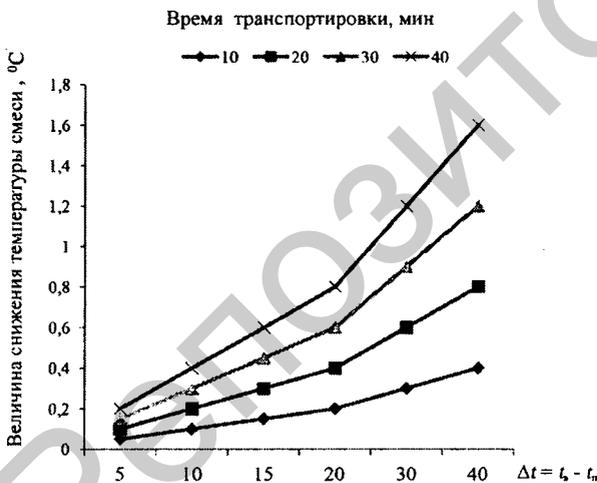


Рис. 4. Зависимость снижения температуры смеси от времени транспортирования теплоизолированными бетоносмесителями

смеси (табл. 1). Эти данные могут быть использованы при разработке организационно-технологической документации. На рис. 2–4 приведены зависимости снижения температуры смеси от времени транспортирования различными транспортными средствами.

Сокращение теплопотерь в процессе транспортирования бетонной смеси может быть достигнуто путем реализации ряда организационно-технических мероприятий, в том числе:

- рациональный выбор и повышение теплозащитных свойств транспортных средств;
- выбор и проверка маршрута и времени транспортирования бетонной смеси;
- четкая организация работы, исключающая простой загруженных транспортных средств.

После транспортирования бетонной смеси осуществляется ее подача к месту укладки в бетонную конструкцию с установленной опалубкой и смонтированной арматурой. Для этой цели используют краны, подъемники, транспортеры, бетоноукладчики, вибропитатели, мототележки, бетононасосы и пневмонагнетатели. В табл. 2 приведены данные о снижении температуры смеси при подаче к месту укладки. На рис. 5 приведена зависимость снижения температуры смеси от расстояния транспортирования при подаче к месту укладки.

Значительное снижение температуры бетонной смеси происходит при ее укладке в бетонную конструкцию, уплотнении, заглаживании поверхностей, установке электродов, теплоизоляции открытых поверхностей и выполнении других работ, которые производятся до начала тепловой обработки. Величины снижения температуры бетонной смеси при выполнении этих операций, а также при подключении нагревательных устройств и приборов приведены в табл. 3. В случаях значительного отличия фактических данных от приведенных в табл. 3 необходимо принять меры по ликвидации или уменьшению полученного разрыва. Для этой цели

Таблица 2. Снижение температуры бетонной смеси в процессе подачи к месту укладки

Расстояние подачи бетонной смеси к месту укладки, м	Величина снижения температуры смеси при разных значениях $\Delta t = t_b - t_n$					
	5	10	15	20	30	40
10	0,55–0,63	1,06–1,26	1,39–1,59	1,51–2,12	3,18–3,78	4,24–5,04
20	0,58–0,78	1,16–1,56	1,72–1,74	1,87–2,32	3,48–4,68	4,64–6,24
30	0,63–0,93	1,26–1,86	1,89–2,05	2,23–2,52	3,78–5,58	5,04–7,44
40	0,68–1,08	1,36–2,16	2,04–2,38	2,59–2,72	4,08–6,48	5,44–8,64
50	0,73–2,23	1,46–2,46	2,15–2,71	2,92–2,96	4,38–7,38	5,84–9,84

Таблица 3. Снижение температуры бетонной смеси в процессе укладки, уплотнения, заглаживания поверхностей, при установке электродов и выполнении других операций, предшествующих прогреву

Время, мин, выполнения комплекса операций при укладке слоями различной толщины	Величина снижения температуры смеси при разных значениях $\Delta t = t_0 - t_n$					
	5	10	15	20	30	40
Слой 0,06 м						
10	1,50	3,00	4,50	6,00	9,00	15,00
20	3,00	6,00	9,00	12,00	18,00	24,00
30	4,50	9,00	13,50	18,00	27,00	36,00
Слой 0,1 м						
10	0,90	1,80	2,70	3,60	5,40	7,20
20	1,80	3,60	5,40	7,20	10,80	14,40
30	2,70	5,40	8,10	10,80	16,20	21,60
Слой 0,2 м						
10	0,60	1,20	1,80	2,40	3,60	4,80
20	1,20	2,40	3,60	4,80	7,20	9,60
30	1,80	3,60	5,40	7,20	10,80	14,40
Слой 0,3 м						
10	0,45	0,9	1,35	1,80	2,70	3,60
20	0,90	1,80	2,70	3,60	5,40	7,20
30	1,35	2,7	4,05	1,40	2,10	2,80
Слой 0,4 м						
10	0,35	0,70	1,05	1,40	2,10	2,80
20	0,70	1,40	2,10	2,80	4,20	5,60
30	1,05	2,10	3,15	4,20	6,30	8,40
Слой 0,5 м						
10	0,30	0,60	0,90	1,20	1,80	2,40
20	0,60	1,20	1,80	2,40	3,60	4,80
30	0,90	1,80	2,70	3,60	5,40	7,20

могут быть приняты различные технологические и организационные решения.

В зимнее время иногда дополнительно требуются энергоресурсы на очистку опалубки и арматуры от снега и наледи, кроме того, бетонирование густоармированных конструкций с арматурой диаметром более 24 мм, арматурой из жестких прокатных профилей или с крупными металлическими закладными частями сле-

дует выполнять с предварительным отоплением металла до положительной температуры [7]. Недостаточная подготовленность арматуры перед укладкой бетонной смеси отрицательно сказывается на сцеплении ее с бетоном, что, в конечном итоге, влияет на качество монолитной бетонной конструкции.

Проведенные многочисленные наблюдения показали, что при выполнении монолитных работ в зимнее время наибольший расход энергоресурсов происходит в процессе подъема температуры и тепловой обработки бетона. В этот период энергоресурсы используются для следующих целей:

- отогрев грунта основания или ранее уложенного бетона;

- нагрев опалубочной системы;
- нагрев бетонной смеси;
- нагрев арматуры;
- испарение влаги при подъеме температуры и изотермическом прогреве;

- компенсация потерь теплоты в процессе подъема температуры и изотермического прогрева.

Снижение затрат энергоресурсов в процессе подъема температуры и изотермического прогрева может быть достигнуто путем выбора рационального режима тепловой обработки и оптимизации величины термического сопротивления теплоизоляции. Для выбора режимов прогрева монолитного бетона разработаны соответствующие программы, реализуемые на компьютере. Программы разработаны для тепловой обработки следующих конструктивных элементов:

- фундаменты ступенчатые;
- ростверки;
- столбчатые фундаменты и фундаменты под оборудование;
- фундаментные плиты;
- стены;
- колонны;
- балки;
- плиты покрытий и перекрытий.

Практика показывает, что не всегда принимаются надлежащие меры, направленные на снижение теплопотерь в процессе прогрева монолитного бетона. В то же время даже небольшое увеличение термического сопротивления теплоизоляции позволяет значительно сократить расход энергоресурсов. В табл. 4 приведены данные о потерях теплоты 1 кв. м поверхности прогреваемой конструкции

Таблица 4. Удельные потери теплоты (Q , Вт/м²) при экзотермическом прогреве монолитных конструкций при разных величинах термического сопротивления теплоизоляции R (м²·°С/ккал) и перепада температуры (Δt , °С)

R , м ² ·°С/ккал	Δt , °С									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0	331,8	663,6	995,4	1327,2	1659	1990,8	2322,6	2654,4	2986,2	3318
0,5	18,86	37,72	56,58	75,45	94,31	113,17	132,04	150,90	169,76	188,62
1	9,70	19,41	29,12	38,82	48,53	58,24	67,95	77,65	87,366	97,07
1,5	6,53	13,07	19,6	26,14	32,67	39,21	45,74	52,28	58,81	65,35
2	4,92	9,85	14,77	19,70	24,62	29,55	34,48	39,40	44,33	49,25
2,5	3,95	7,90	11,85	15,8	19,76	23,71	27,66	31,61	35,57	39,52
3	3,30	6,6	9,90	13,2	16,50	19,80	23,10	26,40	29,70	33,00
3,5	2,83	5,66	8,49	11,33	14,16	16,99	19,82	22,66	25,49	28,32
4	2,48	4,96	7,44	9,92	12,40	14,88	17,36	19,85	22,33	24,81
4,5	2,20	4,41	6,62	8,82	11,03	13,24	15,45	17,65	19,86	22,07
5	2	3,97	5,96	7,95	9,94	11,92	13,91	15,90	17,89	19,88



Рис. 6. Зависимость потерь теплоты при экзотермическом прогреве монолитных конструкций

в течение одного часа изотермического прогрева при разных величинах температурного перепада наружного воздуха и температуры тепловой обработки. На рис. 6 приведена зависимость потерь теплоты при экзотермическом прогреве монолитных конструкций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполнен анализ основных операций по монолитному бетонированию в условиях отрицательных температур, разработаны зависимости, отражающие наиболее рациональный расход ТЭР при их выполнении.
2. Сопоставление фактических данных с приведенными в таблицах дает возможность судить об эффективности протекания процесса и своевременно принимать меры в случаях возникновения проблемных ситуаций.
3. Выбор и оптимизацию режима тепловой обработки бетона целесообразно проводить с использованием программных комплексов по оптимизации принимаемых решений, реализуемых на ЭВМ [8].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Расход топливно-энергетических ресурсов в строительном производстве: сб. науч. статей науч.-метод. семинара "Повышение качества подготовки студентов специальности промышленное и гражданское строительство", Минск, 2011 г. / БНТУ; А. А. Лозовский. — Минск, 2011. — С. 408–419.
2. Лозовский, А. А. Мониторинг расхода ТЭР в строительном производстве / А. А. Лозовский // Архитектура и строительство. — 2010. — № 5. — С. 74–76.
3. Лозовский, А. А. Формирование мероприятий, обеспечивающих снижение затрат энергоресурсов в строительстве / А. А. Лозовский, Г. В. Земляков // Архитектура и строительство. — 2006. — № 5. — С. 110–111.
4. Лозовский, А. А. Формирование энергосберегающих технологических и организационных решений в строительстве / А. А. Лозовский, Г. В. Земляков // Строительная наука и техника. — 2007. — № 4 (13). — С. 98–103.
5. Лозовский, А. А. Методика формирования энергосберегающих технологических и организационных мероприятий в строительных организациях / А. А. Лозовский, Г. В. Земляков // Строительная наука и техника. — 2008. — № 6 (21). — С. 101–105.
6. Ахвердов, И. Н. Основы физики бетона / И. Н. Ахвердов. — М.: Стройиздат, 1981. — 464 с.
7. Бетонные работы при отрицательных температурах воздуха. Правила производства: ТКП 45-5.03-21-2006.
8. Лозовский, А. А. Формирование энергосберегающих технологических и организационных решений в строительстве / А. А. Лозовский, Г. В. Земляков // Строительная наука и техника. — 2007. — № 4 (13). — С. 98–103.

Статья поступила в редакцию 18.03 2013.