

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.12737/24255

Теличенко В.И., д-р техн. наук, проф., академик РААСН,
Кайтуков Б.А., канд. техн. наук, доц.,
Скель В.И., канд. техн. наук, доц.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

К ВОПРОСУ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ РОТОРНЫХ БЕТНОСМЕСИТЕЛЕЙ

PRESIDENT@mgsu.ru

При большом объеме бетонных работ применяют роторные бетоносмесители принудительного действия и для них на основе анализа различных источников и собственных разработок авторов оценивается целесообразная возможность интенсификации приготовления бетонной смеси за счет изменения скорости движения лопастей ротора при сохранении качества готового продукта. Интенсивность действия смесителей характеризуется временем достижения конкретного результата при постоянной частоте вращения ротора, и мощностью, расходуемой на смешивание, приведенной к единице объема. Показывается влияние скорости движения лопастей ротора на прочность бетона различного состава, на время перемешивания ингредиентов бетонной смеси и другие составляющие рабочего цикла роторного бетоносмесителя. Также показывается взаимозависимость всех факторов и характеристик роторных бетоносмесителей принудительного действия, как то: кинематических, силовых, мощностных и других. При этом как результат определяется годовая производительность роторного бетоносмесителя принудительного действия. Материал статьи рассматривается как предварительная основа оптимального выбора скорости движения лопастей ротора в стоимостном выражении готового продукта.

Ключевые слова: роторный бетоносмеситель, интенсификация, производительность, скорость движения лопастей ротора, время перемешивания.

Приготовление бетонной смеси является важнейшим технологическим переделом в общем объеме строительных работ. Получить бетон или раствор со свойствами, отвечающими предъявленным к нему требованиям, возможно при использовании надежно и быстро работающего смесительного оборудования. Анализ показывает, что работы по интенсификации приготовления бетонных смесей проводились разными авторами [1–4]. Совершенствование технологии получения малоподвижных, жестких и особо жестких бетонных смесей предполагает интенсификацию рабочих процессов перемешивания компонентов этих смесей. Рациональное повышение скорости движения лопастей роторных бетоносмесителей принудительного действия до определенного предела позволяет получить более равномерное распределение компонентов смеси за меньшее время перемешивания [5–7].

Физика процесса перемешивания в роторных бетоносмесителях отличается от процессов, которые происходят в гравитационных смесителях, применяемых как правило для небольших объемов готового продукта. Поэтому в настоящее время вопрос интенсификации процесса перемешивания и повышения производительности

роторных бетоносмесителей является актуальным [5].

Особенностью процесса перемешивания грубодисперсных смесей является то обстоятельство, что нагрузки на лопасти роторных бетоносмесителей принудительного действия изменяются с изменением скорости их движения. Это обусловлено изменением физико-механических свойств смеси в зависимости от скорости деформации и изменением сопротивлений движению лопастей в смеси. В роторных бетоносмесителях орбиты составляющих бетонной смеси имеют вынужденный характер, обусловленный движением лопастей. Чем больше частиц смеси вовлекается в движение, тем интенсивней будет процесс смешивания. Во время перемешивания перемещению частиц материалов, входящих в смесь, противодействуют силы инерции, силы внутреннего и внешнего трения, имеющие, в зависимости от зернового состава и водоцементного отношения, большее или меньшее значение [8, 9]. Кроме этого, в процессе смешивания преодолевается сила тяжести, стремящаяся опустить материал, что способствует его расслоению. Каждый из этих показателей может быть мерой интенсивности смешивания не вообще, а для конкретного смесителя.

Скорость движения лопастей роторных бетоносмесителей, таким образом, определяет не только кинематические параметры механизма привода, но и существенно влияет на нагрузки, которые идут на рабочие органы, и мощность двигателя. С другой стороны скорость движения лопастей существенным образом влияет на интенсивность перемешивания, обуславливающей качество смеси и производительность бетоносмесителя. В общем случае параметры механизма привода бетоносмесителей принудительного действия определяются передаваемой мощностью и скоростью рабочих органов. Имея это в виду, необходимо установить диапазон рациональных скоростей движения лопастных аппаратов и передаваемых мощностей роторных бетоносмесителей в зависимости от производительности. В работах [5, 10] установлено, что скорость движения лопастей (на среднем диаметре кольцевого пространства чаши) для бетоносмесителей отечественного производства находится в пределах 1,34...3,6 м/с. У аналогичных зарубежных бетоносмесителей, судя по мощности двигателя и схеме лопастных аппаратов, эта скорость находится в пределах 1,84...3,53 м/с. Наблюдается стремление к повышению скорости движения лопастей роторных бетоносмесителей принудительного действия с целью повышения интенсивности перемешивания и повышения производительности. Но следует заметить, что дальнейшее увеличение скорости может привести к снижению качества бетона; при этом возрастает мощность двигателя, увеличивается энергоемкость процесса перемешивания, а так же увеличивается масса смесителя вследствие увеличения нагрузок, форсируется износ рабочих органов и других элементов бетоносмесителя [6, 10].

Вопрос выбора рациональной скорости движения решается с учетом различных факторов, например, таких, которые отражают затра-

ты на единицу выпускаемой продукции. В такой постановке исходная задача сводится к определению функциональных зависимостей затрат от скорости движения лопастей роторного бетоносмесителя и решается с учетом различных факторов.

Качество бетонной смеси обычно оценивают по прочности образцов – кубов, взятых из разных точек чаши бетоносмесителя и коэффициентом вариации прочности.

Исследование влияния скорости движения лопастей роторных бетоносмесителей на качественную характеристику смеси встречается в ряде работ [11–15]. В результате этих исследований получены зависимости прочности образцов бетона, которые были сформированы из смеси, приготовленной при разных скоростях. Из анализа этих работ следует, что достижение некоторого уровня прочности бетона при более высоких скоростях можно осуществить за меньшее время перемешивания. Так для исследуемого в работе состава бетона уровень прочности бетона 30 МПа может быть получен при скорости 1,15 м/с за 45 с, при скорости 1,61 м/с – за 25 с и при скорости 2,5 м/с – за 10 с.

Результаты данных исследований и их анализ позволяют определить зависимости времени перемешивания, необходимого для получения смеси требуемого качества, в функции скорости движения лопастей (рис. 1). Эта зависимость позволяет сделать предположение, что увеличение скорости перемешивания выше некоторого предела приводит к снижению качества бетона. Построение графика рис. 1 выполнено с использованием данных выше рассмотренных работ при приготовлении бетонов марки 200 с содержанием цемента 380...400 кг/м³ с осадкой конуса 4...6 см, марки 150 с содержанием цемента 250...300 кг/м³ с осадкой конуса 6...8 см для получения уровня прочности бетонов соответственно 25...30 МПа и 14...18 МПа.

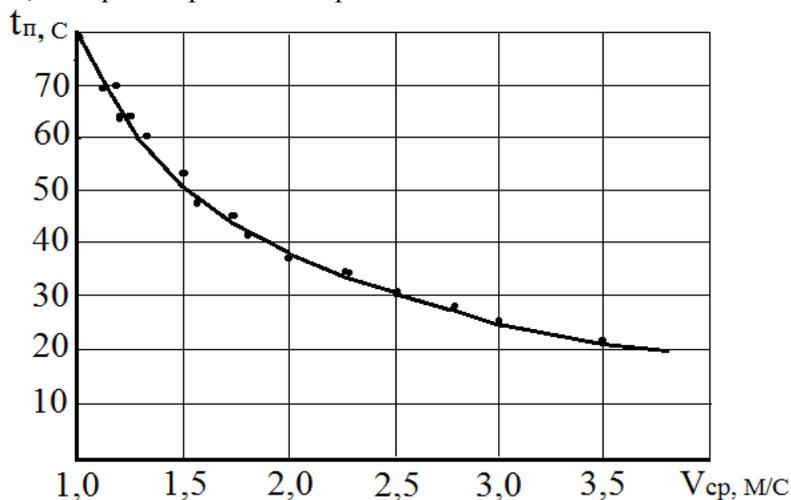


Рис. 1. Зависимость времени перемешивания от скорости движения лопастей

Техническая производительность циклических бетоносмесителей определяется зависимостью:

$$P_T = V_T \cdot i, \quad (1)$$

где V_T – объем готового замеса, m^3 ; i – число замесов в час.

Число замесов равно:

$$i = 3600/T_{ц}, \quad (2)$$

где $T_{ц}$ – время одного цикла, с.

Время, затрачиваемое на один цикл, складывается из трех составляющих:

$$T_{ц} = t_3 + t_{п} + t_{в}, \quad (3)$$

где t_3 – время загрузки бетоносмесителя, с; $t_{п}$ – время перемешивания, с; $t_{в}$ – время выгрузки смеси, с.

Время загрузки бетоносмесителя зависит от конструктивных решений подачи компонентов

смеси и схемы установки бетоносмесителя. Так для некоторых бетоносмесительных установок время загрузки $t_3 = 12...18$ с. Время выгрузки смеси из бетоносмесителя зависит от скорости движения лопастного вала. По опыту эксплуатации роторных бетоносмесителей, время выгрузки может быть $t_{в} = 0,5t_{п}$. Следовательно, время цикла (3) роторного бетоносмесителя может определяться по формуле:

$$T_{ц} = (14...16) + 1,5t_{п} \approx 15 + 1,5t_{п}. \quad (4)$$

По зависимости рис. 1, используя значения времени перемешивания $t_{п}$, можно составить таблицу, которая позволяет определить время цикла и число замесов в час при работе на различных скоростях движения лопастей роторных бетоносмесителей.

Таблица 1

Скорость движения лопастей в зависимости от времени цикла и числа замесов в час роторных бетоносмесителей

| № п/п | Средняя скорость лопастей $V_{ср}$, м/с | Время перемешивания $t_{п}$ | Время цикла $T_{ц}=(12...18)+1,5t_{п}$, с | Число замесов в час $i = 3600/T_{ц}$ | Время цикла $T_{ц}'= 144/ V_{ср}$, с |
|-------|--|-----------------------------|--|--------------------------------------|---------------------------------------|
| 1 | 1,0 | 80 | 132...138 (135) | 25 | 144 |
| 2 | 1,5 | 55 | 94,5...100,5 (97,5) | 37 | 96 |
| 3 | 2,0 | 37 | 67,5...73,5 (70,5) | 50 | 72 |
| 4 | 2,5 | 30 | 57...67 (60) | 62 | 57,5 |
| 5 | 3,0 | 25 | 49,5...55,5 (52,5) | 75 | 48 |
| 6 | 3,5 | 20 | 42...48 (45) | 88 | 41 |

На рис. 2 представлена зависимость времени цикла от скорости движения лопастей. Как видно из рис. 1 и рис. 2 зависимости времени

перемешивания и времени цикла от скорости движения лопастей не линейны.

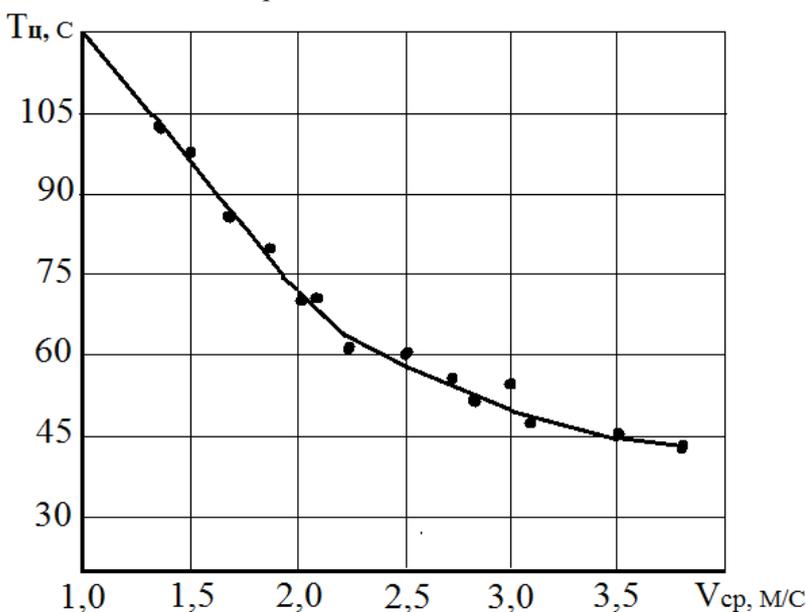


Рис. 2. Зависимость времени цикла от скорости движения лопастей

По рис. 2 можно предположить, что время цикла обратно пропорционально скорости движения лопасти и может иметь вид функции:

$$T_{ц} = k / V_{ср}, \quad (5)$$

где k – параметрический коэффициент, имеющий размерность в м.

Проведенный регрессивный анализ функции (5) показал, что время цикла роторных бетоносмесителей может определяться по зависимости:

$$T_{ц} = 143,6 / V_{cp} \approx 144 / V_{cp}, \text{ с} \quad (6)$$

где V_{cp} – средняя скорость лопастей, м/с.

Согласно (1) техническая производительность бетоносмесителей роторного типа будет, м³/ч:

$$P_T = V_T \cdot i = 3600 \cdot V_T \cdot V_{cp} / 144 = 25 \cdot V_T \cdot V_{cp} \quad (7)$$

С учетом (7) часовая эксплуатационная производительность определяется по зависимости:

$$P_3 = P_T \cdot K_{ти}, \quad (8)$$

где $K_{ти}$ – коэффициент перехода от технической к эксплуатационной производительности, $K_{ти} = 0,5$.

Тогда годовая эксплуатационная производительность роторного бетоносмесителя будет, м³/год:

$$P_T = P_3 \cdot T_T \cdot K_{и}, \quad (9)$$

где T_T – годовой фонд работы бетоносмесителя, $T_T = 2560$ ч; $K_{и}$ – коэффициент использования сменного времени, $K_{и} = 0,75$.

Окончательно зависимость (9), с учетом значения T_T , $K_{ти}$, и $K_{и}$ для определения годовой производительности роторного бетоносмесителя примет вид, м³/год:

$$P_T = 24,96 \cdot 10^3 \cdot V_T \cdot V_{cp} \approx 25 \cdot 10^3 \cdot V_T \cdot V_{cp}, \quad (10)$$

где V_T – объем годового замеса, м³; V_{cp} – окружная скорость движения лопастей на среднем радиусе чаши роторного бетоносмесителя, м/с.

Вывод. На основе анализа конструктивно-технологических факторов работы роторного бетоносмесителя принудительного действия получено выражение годовой производительности в зависимости от скорости движения лопастей ротора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Королев К.М. Интенсификация приготовления бетонной смеси. М.: Стройиздат, 1976 г.
2. Богданов В.С., Шарапов Р.Р., Фадин Ю.М., Семикопенко И.А., Несмеянов Н.П., Герасименко В.Б. Основы расчета машин и оборудования предприятий строительных материалов и изделий: учебник. Старый Оскол: 2012.
3. Хархардин А.Н., Погорелов С.А., Топчиев А.И. Топологические особенности формирования плотной структуры бетонов // Известия

высших учебных заведений. Строительство. 2000. № 10. С. 47.

4. Богомолов А.А. О сущности процесса смешивания и его критериях // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2005. № 9. С. 301.

5. Густов Ю.И., Степанов М.А., Кайтуков Б.А. Анализ конструктивно-расчетных схем бетоносмесителей // Механизация строительства. 2013. № 12. С. 30–31.

6. Густов Ю.И., Кайтуков Б.А., Григорьева М.Н. Повышение эффективности работы роторного бетоносмесителя принудительного действия // Механизация строительства. 2016. № 11. С. 26–29.

7. Шарапов Р.Р., Шаптала В.Г., Алфимова Н.И. Прогнозирование дисперсных характеристик высокодисперсных цементов. Строительные материалы. 2007. № 8. С. 24–25.

8. Sharapov R.R., Agarkov A.M. Matrix modeling of technological systems grinding with closed circuit ball mill // World Applied Sciences Journal. 2013. Т. 24. №10. С. 1399–1403.

9. Агарков А.М., Шарапов Р.Р., Бойчук И.П., Прокопенко В.С. Гидравлическое сопротивление концентратора // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2015. № 6. С. 160–163.

10. Густов Ю.И., Кайтуков Б.А., Мишагин Д.М. Повышение износостойкости рабочего органа роторного бетоносмесителя // Механизация строительства. 2016. № 4. С. 39–41.

11. Сапелин Н.А., Бурьянов А.Ф. Зависимости прочности бетонов на основе неорганических вяжущих от средней плотности // Строительные материалы. 2001. № 6. С. 36–38.

12. Лесовик В.С., Чулкова И.Л. Влияние составов материалов на формирование структуры строительных композитов // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2015. № 4. С. 69–79.

13. Богомолов А.А., Корнеев А.С. Модификация уравнения процесса смесеобразования. // Механизация строительства. 2009. №11. С. 16–17.

14. Богомолов А.А. Теоретические и технические основы совершенствования смесительных машин для приготовления строительных смесей. Монография. Белгород, 2010.

15. Юдин К.А., Харин Н.П. Проектирование смесителя с двунаправленным вращательным воздействием на материал // Автоматизированное проектирование в машиностроении. 2016. № 4. С. 66–67.

Telichenko V.I., Kaitukov B.A., Skel V.I.**TO THE QUESTION OF PRODUCTIVITY OF ROTARY MIXERS**

With a large volume of concrete works using rotary mixers and enforcement actions and for them. An article based on the analysis of various sources and own developments of the authors estimated reasonable possibility of intensification of preparation of concrete mixtures by changing the speed of the rotor blades while maintaining the quality of the finished product. The Intensity of the action of the mixers is characterized by the time to achieve a specific result at a constant frequency of rotation of the rotor, and the power consumed for mixing, normalized to unit volume. Shows the influence of the speed of movement of the rotor blades on the strength of concrete of different composition during the mixing of ingredients of concrete mix and other components of the operating cycle of the rotary mixer. It also shows the interdependence of all factors and characteristics rotary concrete mixer of forced action, such as: the kinematic, power, power and others. At the same time as the outcome is determined by the annual performance of the rotary concrete mixer of forced action. The material is regarded as a provisional basis for optimum choice of the speed of the blades of the rotor in terms of value of the finished product.

Key words: rotary mixer, intensification, productivity, speed of rotor blades, stirring time.

Теличенко Валерий Иванович, доктор технических наук, профессор, президент.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

Адрес: Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Email: PRESIDENT@mgsu.ru

Кайтуков Батраз Амурханович, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Механизация строительства».

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

Адрес: Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Email: KaitukovBA@gic.mgsu.ru

Скель Владимир Израилевич, кандидат технических наук, доцент, кафедра «Механизация строительства».

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет.

Адрес: Россия, 129337, г. Москва, Ярославское шоссе, д. 26

Email: skelvi@mgsu.ru