

УДК 666.972.031.3/4

Rational Parameters of Concrete Mixers of Gravitational Type

Vitaliy V. Minin*, Vladimir P. Pavlov,
Sergey F. Zyablov and Gennadiy A. Kuznecov
Siberian Federal University
79 Svobodny, Krasnoyarsk, 660041, Russia

Received 22.12.2015, received in revised form 23.05.2016, accepted 19.11.2016

The technique of improvement of a gravity-type concrete mixers. Proposed criteria for assessing the competitiveness of structures of concrete mixers and calculation of rational parameters. The values of the main parameters and dimensions of effective designs of gravity of concrete mixers.

Keywords: gravity concrete mixer, criteria of competitiveness, rational parameters.

Citation: Minin V.V., Pavlov V.P., Zyablov S.F., Kuznecov G.A. Rational parameters of concrete mixers of gravitational type, J. Sib. Fed. Univ. Eng. technol., 2017, 10(1), 52-58. DOI: 10.17516/1999-494X-2017-10-1-52-58.

Рациональные параметры бетоносмесителей гравитационного типа

**В.В. Минин, В.П. Павлов,
С.Ф. Зяблов, Г.А. Кузнецов**
Сибирский федеральный университет
Россия, 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

Представлена методика совершенствования бетоносмесителей гравитационного типа. Предложены критерии для оценки конкурентоспособности конструкций бетоносмесителей и расчета рациональных параметров. Определены значения основных параметров и типоразмеров эффективных конструкций гравитационных бетоносмесителей.

Ключевые слова: гравитационный бетоносмеситель, критерии конкурентоспособности, рациональные параметры.

Перспективный путь снижения доли ручного труда в строительстве – совершенствование существующих и создание новых моделей бетоносмесителей (БС). Значительный опыт проектирования, производства и эксплуатации БС [1] показывает, что необходим всесторонний

анализ конструктивных исполнений данного типа мини-машин для принятия альтернативного решения, которое может быть получено на основе комплексной оптимизации их конструктивных параметров [2–4].

Одним из этапов определения рациональной конструктивной схемы и выбора оптимальных параметров бетоносмесителей является выбор модели для оценки совершенства конструктивного решения. Такая модель должна отвечать требованиям, предъявляемым к количественным методам оптимизации. Зарубежные компании постоянно проводят исследования по созданию высокотехнологичных процессов производства и обработки бетонных смесей для достижения качества и снижения себестоимости продукции [5–8]. Специфика режимов работы БС позволяет при проведении оптимизации параметров условно выделить режим, при котором привод оказывает прямое влияние на производительность БС.

В данном случае на стадии проектирования задачу оптимизации параметров и оценки конструктивного исполнения бетоносмесителя можно ограничить уровнем рассматриваемой подсистемы, т.е. согласованием параметров БС и требований к свойствам смеси. Модель оценки конкурентоспособности должна учитывать важнейшие элементы цикловых операций.

Представим функцию затрат как стоимость C (руб.) бетоносмесителя и расходов на его эксплуатацию, а также рабочей смеси (цемента, воды, песка и крупного заполнителя) в виде формулы

$$C = \sum_{i=1}^n (C_i P_i) + C_{эi} (1 - P_i),$$

где C_i – стоимость i -го элемента (привода, корпуса бетоносмесителя, компонентов смеси и т.д.), $i = 1, 2, \dots, n$; n – число элементов; $C_{эi}$ – затраты на эксплуатацию i -го элемента; P_i – вероятность безотказной работы i -го элемента [4].

Необходимо отметить, что математическая модель стоимости может иметь и другой вид, включающий в себя конъюнктурные факторы рынка.

Для последовательного соединения элементов бетоносмесителя вероятность безотказной работы принято определять в виде

$$P = \exp\left(-\sum_{i=1}^n \lambda_i t_i\right),$$

где λ_i , t_i – интенсивность отказов и время работы i -го элемента машины соответственно, $i = 1, \dots, n$. Введем понятие установочной (C_N) и реализуемой (C) стоимости мощности, руб/кВт:

$$C_N = \frac{C}{N}; \quad C_P = \frac{C}{N\eta k_N},$$

где N – мощность привода бетоносмесителя; кВт, η – КПД; k_N – коэффициент использования установочной мощности (зависит от режима нагружения).

Значение коэффициента k_N определяют эмпирически для конкретного типа электродвигателя.

В условиях эксплуатации бетоносмесителя наиболее вероятным является нестабильный режим работы, когда значение КПД зависит от факторов эксплуатации (режимов нагружения и значений температуры окружающей среды). Для учета влияния нестабильности значений КПД бетоносмесителя вводится оценка математического ожидания КПД:

$$\bar{\eta} = \sum_{i=1}^L \eta_i P_i,$$

где i – номер расчетного режима работы; η_i, P_i – значение КПД и вероятности появления i -го режима, соответственно $i = 1, \dots, L$; L – число режимов.

Из-за существующих различий в практике ценообразования на фирмах-производителях стоимостные показатели имеют большие предельные отклонения [1]. Для обеспечения точности оптимизации и оценки конструктивных вариантов исполнения следует установить доверительные границы стоимости комплектующих, материалов и затрат на эксплуатацию БС. При нормальном законе распределения (с вероятностью 0,95) среднее значение по генеральной совокупности стоимости рекомендуется [2] определять по известному выражению

$$\bar{C} - \frac{2}{3} \Delta C_{\max} < C < \bar{C} + \frac{2}{3} \Delta C_{\max},$$

где \bar{C} – среднее значение стоимости (математическое ожидание) БС; ΔC_{\max} – максимальное отклонение стоимости.

При установлении доверительной границы по малой выборке (при распределении по Стьюденту) обычно пользуются зависимостью

$$\Delta C_{\min}^{\max} = \pm 3,2 \sigma_{\text{ср}i} / \sqrt{n-1},$$

где $\sigma_{\text{ср}i}$ – среднеквадратичное отклонение стоимости i -го элемента машины.

Определим стоимость потерь мощности (руб/кВт) БС, принимаемую в качестве целевой функции оптимизации:

$$\Pi_{CN} = C_P - C_N.$$

С учетом рассмотренных выше зависимостей критериальная функция приводится к виду

$$\Pi_{CN} = \frac{\sum_{i=1}^n \{C_i P_i + C_{\text{э}i} (1 - P_i)\} \{1 - \bar{\eta} (1 - k_N)\}}{N \bar{\eta} (1 - k_N)}.$$

Условие оптимальности по предлагаемому критерию имеет вид $\Pi_{CN} \rightarrow \min$ или $\Pi_{CN_{i+1}} < \Pi_{CN_i}$.

Авторами выявлена неоднозначность значений КПД, определяемых через мощность или работу БС. В этом случае определения принята теоретическая производительность машины без учета влияния КПД привода. Вследствие этого целевая функция оптимизации будет определять стоимость потерь полезной удельной работы в цикле БС.

Тогда стоимость установочной удельной работы за цикл определяется в виде

$$A_{уд}^y = \frac{CN}{\Pi_T},$$

где Π_T – производительность БС, кг/с.

Стоимость реализуемой (полезной) удельной работы в цикле:

$$A_{уд}^p = \frac{CN\bar{\eta}k_N}{\Pi_T}.$$

Стоимость потерь полезной удельной работы в цикле БС принимается в качестве целевой функции оптимизации:

$$\Pi_{CA} = A_{уд}^p - A_{уд}^y.$$

Это выражение представим в виде

$$\Pi_{CA} = \sum_{i=1}^n \frac{\{C_i P_i + C_{эi}(1 - P_i)\} N \cdot k_N \cdot (1 - \bar{\eta})}{\Pi_T}.$$

Условие оптимальности по предлагаемому критерию записывается как

$$\Pi_{CA} \rightarrow \min \text{ или } \Pi_{CA_{i+1}} < \Pi_{CA_i}.$$

Производительность БС роторного типа определяют по зависимости (Кудрявцев Е.М., МГСУ)

$$\Pi_T = \pi \cdot \left(\frac{D_6}{2} \right)^2 \cdot H_6 \cdot k_{об} \cdot z_{зам} \cdot k_{вых},$$

где D_6 – диаметр барабана, м; H_6 – ширина барабана, м; $k_{об}$ – объемный коэффициент заполнения; $z_{зам}$ – число замесов; $k_{вых}$ – коэффициент выхода бетонной смеси. Разработанный критерий имеет размерность руб/Дж/кг. Мощность, необходимая на приготовление бетонной смеси, кВт:

$$N = V_{cp} \cdot K \cdot \sum_{i=1}^{m_{\Pi}} S_{\Pi_i} \cdot \cos \alpha_i \cdot \cos \beta,$$

где V_{cp} – средняя линейная скорость движения лопастей, м/с; K – коэффициент, зависящий от средней линейной скорости движения лопастей, $K = 4,5V_{cp} - 1,5V_{cp}^2 + 26$, Дж/м³.

Суммарная активная площадь подвижных плоскостей, м²:

$$S_{\Pi} = \sum_{i=1}^{m_{\Pi}} S_{\Pi_i} \cdot \cos \alpha_{\Pi_i} \cdot \cos \beta,$$

где m_{Π} – число подвижных плоскостей; S_{Π_i} – активная площадь i -й подвижной лопасти смесителя, м²; α_{Π_i} – угол установки i -й подвижной лопасти смесителя, град; β – угол установки лопастей, град. Суммарная активная площадь неподвижных плоскостей, м²:

$$S_H = \sum_1^{n_H} S_{H_i} \cdot \cos \alpha_{H_i} \cdot \cos \beta,$$

где n_H – число неподвижных плоскостей; S_{H_i} – активная площадь i -й неподвижной лопасти смесителя, м²; α_{H_i} – угол установки i -й неподвижной лопасти смесителя, град; β – угол установки лопастей, град.

Мощность электродвигателя привода вращения барабана для БС, у которых смесительный барабан установлен на центральной цапфе, рассчитывают по зависимости (Кузмичев В.А., СПбГПУ)

$$N = 2,2P_{cm}Rn / 1000 + (P_{cm} + P_o)fr_0\omega / 1000,$$

где P_{cm} – сила тяжести бетонной смеси, Н; R – внутренний радиус цилиндрической части барабана, м; n – частота вращения барабана, с⁻¹; P_o – сила тяжести барабана, Н; f – коэффициент трения, приведенный к валу подшипника опорного устройства, равный 0,01...0,015; r_0 – радиус цапфы опорного вала, м, равный (0,06...0,08) R ; ω – угловая скорость вращения барабана, с⁻¹.

По результатам вычислительных экспериментов в программном продукте Data Fit фирмы Oakdale Engineering (США) получены уравнения регрессии (рис. 1) и соответствующие критерии детерминации R^2 для определения значений Π_{CN} в зависимости от литрового объема барабана Q и мощности привода:

$$\Pi_{CN} = 3185,73 + 48,63 \cdot Q - 6691,82 \cdot N, \quad R^2 = 0,93;$$

$$\Pi_{CN} = 8672,19 + 80,75 \cdot Q - 30767,67 \cdot N, \quad R^2 = 0,93.$$

Практическая реализация оптимизационных расчетов по определению рациональных значений основных параметров позволила спроектировать и изготовить опытную партию конкурентоспособных бетоносмесителей с электромеханическим приводом [1, 9] (рис. 2). Образцы получили высокую оценку (диплом) на XXIII специализированной выставке «Строительство и архитектура – 2015», «Малоэтажное домостроение – 2016», г. Красноярск.

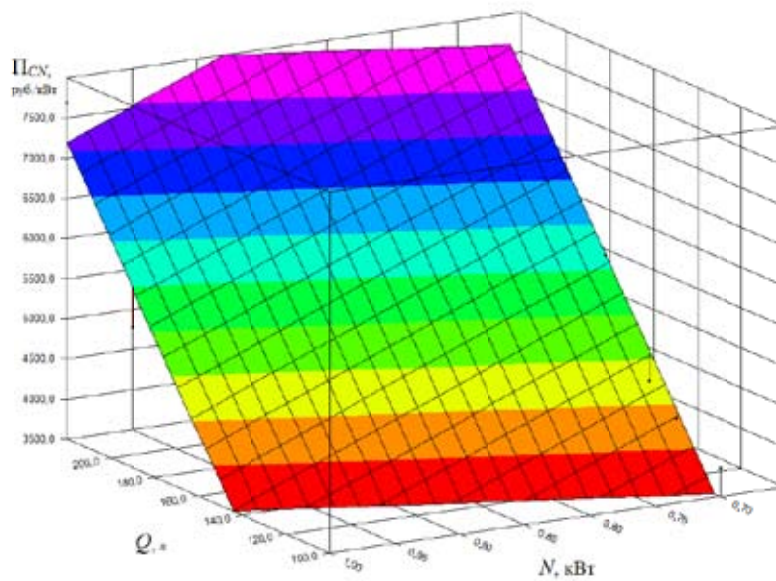
Внедрение в практику разработанной методики расчета конкурентоспособных бетоносмесителей наряду с освоением их серийного производства позволит провести импортозамещение аналогичной продукции.

Выводы

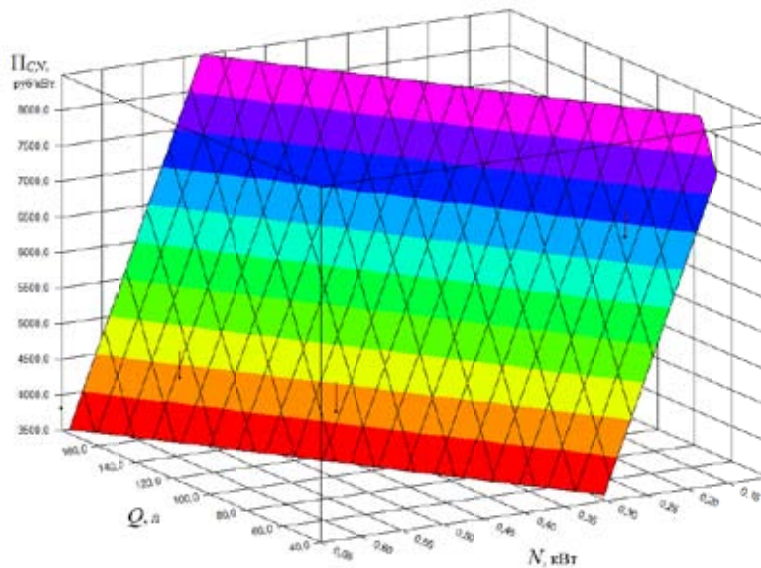
1. Обоснованы комплексные критерии, позволяющие на первых этапах проектирования выполнять оптимизационные расчеты для определения рациональных параметров бетоносмесителей.

2. Доказано, что оптимизационные решения по предлагаемым критериям являются относительно устойчивыми за счет незначительной зависимости местоположения экстремума целевой функции оптимизации от параметра стоимости, имеющего наибольший (до 20 %) разброс значений.

3. Установлено по результатам вычислительных экспериментов, а также оценкам конкурентоспособности созданных опытных образцов гравитационных бетоносмесителей (в сравне-



а)



б)

Рис. 1. Результаты моделирования по критерию стоимости потерь мощности P_{CV} при варьировании значений литрового объема барабана Q и мощности привода N для бетоносмесителей гравитационного типа: а – российского производства; б – производства Китая

нии с китайскими аналогами): снижение массы бетоносмесителей в 1,1–2,5 раза, мощности – до 3 раз (при уменьшении габаритного объема в 2,1–2,6 раза) и числа изготавливаемых (покупных) деталей и узлов – в 1,6–2,4 раза.



а



б

Рис. 2. Опытные образцы бетоносмесителей (патентообладатель – Сибирский федеральный университет) [9]: а – БС-60 (электромеханический привод переменного тока); б – БС-52П (электромеханический привод постоянного тока)

Список литературы

[1] Кузнецов Г. А., Зяблов С.Ф., Минин В.В. Исследование типоразмеров гравитационных бетоносмесителей по объему барабана. *Научное обозрение*, 2014, 6, 64–70 [Kuznetsov G.A., Ziablov S.F., Minin V.V. The study of gravitational sizes of concrete mixers by the volume of the drum. *Nauchnoe obozrenie*, 2014, 6, 64–70 (in Russian)]

[2] Минин В. В. *Концепция повышения эффективности универсальных малогабаритных погрузчиков*. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2012, 304 с. [Minin V.V. *The concept of increasing the efficiency-steer loaders*. Krasnoyarsk, SibFU, 2012, 304 p. (in Russian)]

[3] Павлов В.П. *Основы системотехники многоцелевых землеройных машин*. Новосибирск: Изд-во СО РАН; Красноярск: ИПЦ КГТУ, 2006. 332 с. [Pavlov V.P. *Fundamentals of systems engineering multi-purpose earthmoving machinery*. Novosibirsk, Krasnoyarsk, 2006. 332 p. (in Russian)]

[4] Kuh. H., Schwabe J.-H., Pal'cer U. *Herstellung von Beton und vorgefertigte konkrete Produkte-Methoden und Geräte*. Von Bau-Technik. Düsseldorf, 2009.

[5] Wallace M.A. A new breed of mixers. *Masonry Construction*, May 1991, 178-179.

[6] Wallace M.A. Vertical shaft mixers arrive in the U.S. *Masonry Construction*, April 1995, 184-188.

[7] Schierhorn C. How to select a conventional mortar mixer. *Masonry Construction*, March 1993, 119–121.

[8] Palmer W. Jr. *Small mortar mixers may meet your needs. A selection guide and review of the smallest mixers*. Publication #M99D030 Copyright© 1999, The Aberdeen Group a division of Hanley-Wood, Inc. P. 4.

[9] Патент 147404 РФ. *Гравитационный бетоносмеситель*. Опубл. 10.11.14, бюл. № 31 [Pat. 147404 RF. *Gravitational concrete mixer*, 2014, 31 (in Russian)]