

2. Belokobyl'sky S.V., Eliseev S.V., Mamaev L.A., Kashuba V.B., Sitov I.S., Wojciechowski P.A. The ultrasound device for the surface treatment of natural and artificial stone equipped with a dynamic vibration absorber: pat. RU 113693 U1 Ros. Federatsiya. № 2006123299/11; zayavl. 04.08.2011, opubl. 27.02.2012. Byul. № 6. 7 s.

3. Mamaev L.A., Kashuba V.B., Wojciechowski P.A. The ultrasonic equipment for the surface treatment of artificial and natural stone // Mate-

rialy XI mezhdunar. nauch.-prakt. konf. "Kulaginskie chteniya". Chita, 2011. Ch. 3. S. 5-7.

4. Belokobyl'sky S. V., Kashuba V.B. The generalized theory of dynamic vibration absorbers in technological machines// Problemy mekhaniki sovremennykh mashin: Materialy V mezhdunar. konf. Ulan-Ude, 2012. T.2. S. 204-213.

УДК 691.327

Оценка надежности работы бульдозеров

В.Н. Анферов^{1, a}, С.М. Кузнецов^{1, b}, С.И. Васильев^{2, c}

¹Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Д. Ковальчук 191, Новосибирск, Россия

²Сибирский федеральный университет, пр. Свободный 82, Красноярск, Россия

^aavn43@mail.ru, ^bksm56@yandex.ru, ^cS-vasilev1@yandex.ru

Статья поступила 15.06.2013, принята 16.08.2013

Авторами предложена модель оценки надежности работы бульдозеров. С помощью этой модели можно оценить эффективность и надежность работы бульдозеров и других строительных машин на любом объекте. Это позволит наиболее достоверно прогнозировать сроки производства отдельных видов работ и их стоимость еще на стадии проектирования строительства. В статье определены показатели технической и организационно-эксплуатационной надежности и дана оценка надежности производства строительно-монтажных работ. Для оценки надежности транспортно-технологического процесса авторами статьи предложено понятие надежности как вероятности достижения комплексом машин и механизмов конечной цели при выполнении проекта производства работ. К числу основных показателей надежности работы строительных машин относится коэффициент использования по времени в течение рабочих смен или года. Величина указанного коэффициента требует постоянного мониторинга, поскольку идет процесс технического совершенствования строительных машин на основе накапливаемого опыта их применения. Это характерно для большинства типов строительных машин: экскаваторов, бульдозеров, трубоукладчиков, грузоподъемных кранов и других машин. Доказательство обоснованности сформированной базы данных на основе натурных испытаний осуществлялось в два этапа проверки: логической и математической. Сформированная выборка проверялась на принадлежность соответствующему закону распределения. После этого оценивалась надежность выполнения планируемого объема земляных работ в намеченный отрезок времени. Авторами рассматривались три вида коэффициентов использования машин по времени: при отказе техники, при организационной надежности и организационно-технологической надежности производства работ бульдозерами. Такой подход позволил с высокой точностью прогнозировать сроки выполнения работ. Использование предлагаемого метода по прогнозированию надежности работы бульдозеров может быть распространено на любой тип техники и позволит получить численные значения оценки надежности, что весьма актуально при выборе не только типа техники, но и ее скоростных и грузовых характеристик.

Ключевые слова: организационно-технологическая надежность, организационно-технологический риск, строительные машины.

Assessment of bulldozers operation reliability

V.N. Anferov^{1, a}, S. M. Kuznetsov^{1, b}, S.I. Vasil'yev^{2, c}

¹Siberian Transport University, 191 D. Koval'chuk st., Novosibirsk, Russia

²Siberian Federal University, 82 Svobodny av., Krasnoyarsk, Russia

^aavn43@mail.ru, ^bksm56@yandex.ru, ^cS-vasilev1@yandex.ru

Received 15.06.2013, accepted 16.08.2013

The authors have proposed a model to assess the bulldozers operation reliability. By means of this model, it is possible to estimate the operation efficiency and reliability of bulldozers and other building machinery on any project. This will allow predicting most reliably the periods of work execution and their cost at the construction design stage. In the article, the indicators of technical-organizational and operational reliability have been determined and the reliability assessment to perform construction and assembly works has been given. To assess the reliability of transport and operating process, the authors of the article have proposed the concept of reliability as a hitting probability for a set of machines and mechanisms to achieve an ultimate goal when implementing project works. One of the major factors of building machinery operation reliability is the timed operation factor during working shifts or a year. This coefficient value requires permanent monitoring because the process of the building machinery technological improvement occurs on the basis of the experience accumulated in the process of their employment. This is common with the majority of machine types such

as excavators, bulldozers, pipe-layers, hoisting cranes and others. The proof of the database values validity was carried out according to the results of in-situ testing during the two-stage inspection – logical and mathematical. The produced sampling was checked for its compliance with the distribution law. Then the reliability to finish the amount of earthwork in the stipulated period of time was assessed. The authors considered three types of the coefficients for the timed machine utilization: technical failure; organizational reliability and organizational-operational reliability of bulldozers' works performance. This approach allowed forecasting to a high precision the work completion time. The use of the proposed approach to assess the bulldozers operation reliability can be applied to any type of equipment and will allow obtaining the numerical values of the reliability assessment that is of great current interest when choosing not only the type of equipment, but its high-speed and cargo-carrying characteristics as well.

Keywords: organizational and technological reliability, organizational and technological risk, building machinery.

Введение. Существующая система оптимизации парков, комплексов и комплектов строительных машин не предусматривает оценку надежности их работы. Под надежностью понимается вероятность достижения проектных (рекомендуемых) параметров механизированного строительного производства. Проведенный профессором А.А. Гусаковым и его учениками экспертный анализ показателя надежности указывает, что наиболее рациональными значениями надежности продолжительности производства работ являются значения в диапазоне от 0.5 до 0.7. Превышение этих значений, приближение надежности к единице свидетельствует о так называемой избыточной надежности, т. е. перерасходе вкладываемых в обеспечение надежности строительства ресурсов. Оценка надежности дает возможность оценивать сформированные календарные планы строительства объектов не только с точки зрения качества организационно-технологических характеристик, но и с точки зрения надежности их достижения [1].

Постановка задачи. С помощью созданной авторами базы данных по результатам натурных испытаний работы бульдозеров требуется определить комплексные показатели надежности: коэффициент готовности, коэффициент технического использования и организационно-технологическую надежность работы бульдозеров. Под коэффициентом готовности в соответствии с ГОСТ 27.002-89 понимается вероятность того, что бульдозер окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых применение бульдозера по назначению не предусматривается. Под коэффициентом технического использования понимается отношение математического ожидания суммарного времени пребывания бульдозера в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания бульдозера в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период.

Методы и результаты исследования. В [2] полагают, что производительность комплекса (комплектов и отдельных машин) машин для строительства объектов должна соответствовать условию:

$$P_K \geq P_T + r_K^{\Pi}, \quad (1)$$

где P_T – требуемая производительность комплекса машин; r_K^{Π} – риск комплекса машин по производительности.

Если условие (1) выполняется, то комплекс машин рекомендуется к применению для строительства объекта, и разрабатываются мероприятия по его эффектив-

ному использованию. Если условие (1) не выполняется, то по формуле (2) вычисляем требуемую производительность комплекса машин:

$$P_T^* = P_T + r_K^{\Pi}. \quad (2)$$

В результате будет сформирован комплекс с минимальным риском по производительности.

Критерием оценки надежности работы строительных машин может быть любой показатель работы машин, находящийся в выборке (производительность, продолжительность работ, энергоемкость, стоимость единицы продукции, прибыль и т. д.). Основным показателем для оценки эффективности работы комплексов машин [2] предлагают считать себестоимость производства работ.

Одним из основных факторов надежности работы строительных машин является коэффициент использования их по времени. Во всех нормативных документах приводятся устаревшие (25-летней давности) данные по коэффициентам использования машин в течение рабочего времени, которые требуют обновления, так как машины постоянно совершенствуются. Для оценки надежности работы строительных машин авторами создана база данных по результатам натурных испытаний кранов, экскаваторов, бульдозеров, трубоукладчиков и земснарядов. Для доказательства обоснованности значений базы данных по результатам натурных испытаний проводились два этапа проверки (очистки) [3]:

- *логическая* – при которой по замечаниям наблюдателя из рядов исключаются значения, не относящиеся к нормируемому процессу;

- *математическая* – при которой методами математической статистики определяют правомерность отклонений.

После формирования выборки в соответствии с ГОСТ 8.207-76 определяется ее принадлежность закону нормального распределения и строится кривая нормального распределения. Известно, что кривая нормального распределения выражается следующим уравнением:

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}, \quad (3)$$

где y – ордината кривой распределения; x – значение изучаемого признака (производительность земснаряда); \bar{x} – средняя арифметическая ряда; σ – среднее квадратическое отклонение изучаемого признака.

Известно, что если площадь, ограниченную кривой нормального распределения, принять за 1 или 100 %, то можно рассчитать площадь, заключенную между кри-

вой и любыми двумя ординатами. Воспользовавшись формулой (3), можно рассчитать риск (в процентах) не достижения рассматриваемым бульдозером производительности Π_T по следующей формуле:

$$P = \frac{100}{\sigma_B^{\Pi} \sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^{\Pi_T} e^{-\frac{(\Pi_B - \overline{\Pi_B})^2}{2\sigma_B^{\Pi 2}}} d\Pi_B, \quad (4)$$

где Π_T – требуемая производительность бульдозера; Π_B – значение производительности бульдозера; $\overline{\Pi_B}$ – средняя производительность бульдозера; σ_B^{Π} – среднее квадратическое отклонение производительности бульдозера.

Тогда надежности достижения бульдозером (рис. 3) производительности в конкретных условиях эксплуатации определится по формуле [4]:

$$H = 100 - \frac{100}{\sigma_B^{\Pi} \sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^{\Pi_T} e^{-\frac{(\Pi_B - \overline{\Pi_B})^2}{2\sigma_B^{\Pi 2}}} d\Pi_B. \quad (5)$$

В базе данных хранится информация об использовании бульдозеров по времени по месяцам и годам. В результате отработки статистической информации (при ежемесячных данных о работе бульдозеров) с помощью программы «Sample» получена следующая информация (табл. 1). Результаты обработки статистической информации по использованию бульдозеров при ежегодном анализе их работы приведены в табл. 2. Кривая нормального распределения коэффициентов использования бульдозеров по времени при ежемесячном анализе их работы приведена на рис. 1, при ежегодном анализе их работы – на рис. 2.

Таблица 1

Характеристика выборки коэффициента использования рабочего времени технической, организационно-эксплуатационной и общей надежности работы бульдозеров при ежемесячном анализе их работы

Показатель	Величина	Величина	Величина
Фактор	K_{BT}	$K_{BЭ}$	K_B
Количество опытов, шт.	872	872	872
Количество связей, шт.	3	3	3
Уровень значимости	0,05	0,05	0,05
Минимальное значение фактора	87,47	51,83	45,34
Максимальное значение фактора	96,40	87,45	84,30
Выборочное среднее значение фактора	92,20	71,44	65,97
Среднее линейное отклонение фактора	1,3298	5,2700	5,8023
Среднее квадратическое отклонение фактора	1,6245	6,4457	7,0877
Стандартное отклонение фактора	1,6255	6,4494	7,0917
Средняя квадратическая ошибка фактора	0,0550	0,2184	0,2402
Ошибка в % от среднего значения фактора	0,0597	0,3057	0,3640
Эмпирическая дисперсия выборки	2,6422	41,5950	50,2930
Коэффициент вариации	0,01762	0,09023	0,10744
Вычисленное значение критерия Пирсона	2,26	1,54	2,34
Табличное значение критерия Пирсона	8,13	8,13	8,13
Количество интервалов	11	11	11

Таблица 2

Характеристика выборки коэффициента использования рабочего времени технической, организационно-эксплуатационной и общей надежности работы бульдозеров при ежегодном анализе их работы

Показатель	Величина	Величина	Величина
Фактор	K_{BT}	$K_{BЭ}$	K_B
Количество опытов, шт.	145	145	145
Количество связей, шт.	3	3	3
Уровень значимости	0,05	0,05	0,05
Минимальное значение фактора	90,50	64,68	58,53
Максимальное значение фактора	94,01	78,58	73,87
Выборочное среднее значение фактора	92,13	71,23	65,64
Среднее линейное отклонение фактора	0,5784	2,2898	2,5234
Среднее квадратическое отклонение фактора	0,7244	2,8684	3,1616
Стандартное отклонение фактора	0,7269	2,8783	3,1726
Средняя квадратическая ошибка фактора	0,0604	0,2390	0,2635
Ошибка в % от среднего значения фактора	0,0655	0,3356	0,4013
Эмпирическая дисперсия выборки	0,5284	8,2848	10,0654
Коэффициент вариации	0,00786	0,04027	0,04816
Вычисленное значение критерия Пирсона	0,44	0,82	0,48
Табличное значение критерия Пирсона	7,86	7,86	7,86
Количество интервалов	8	8	8

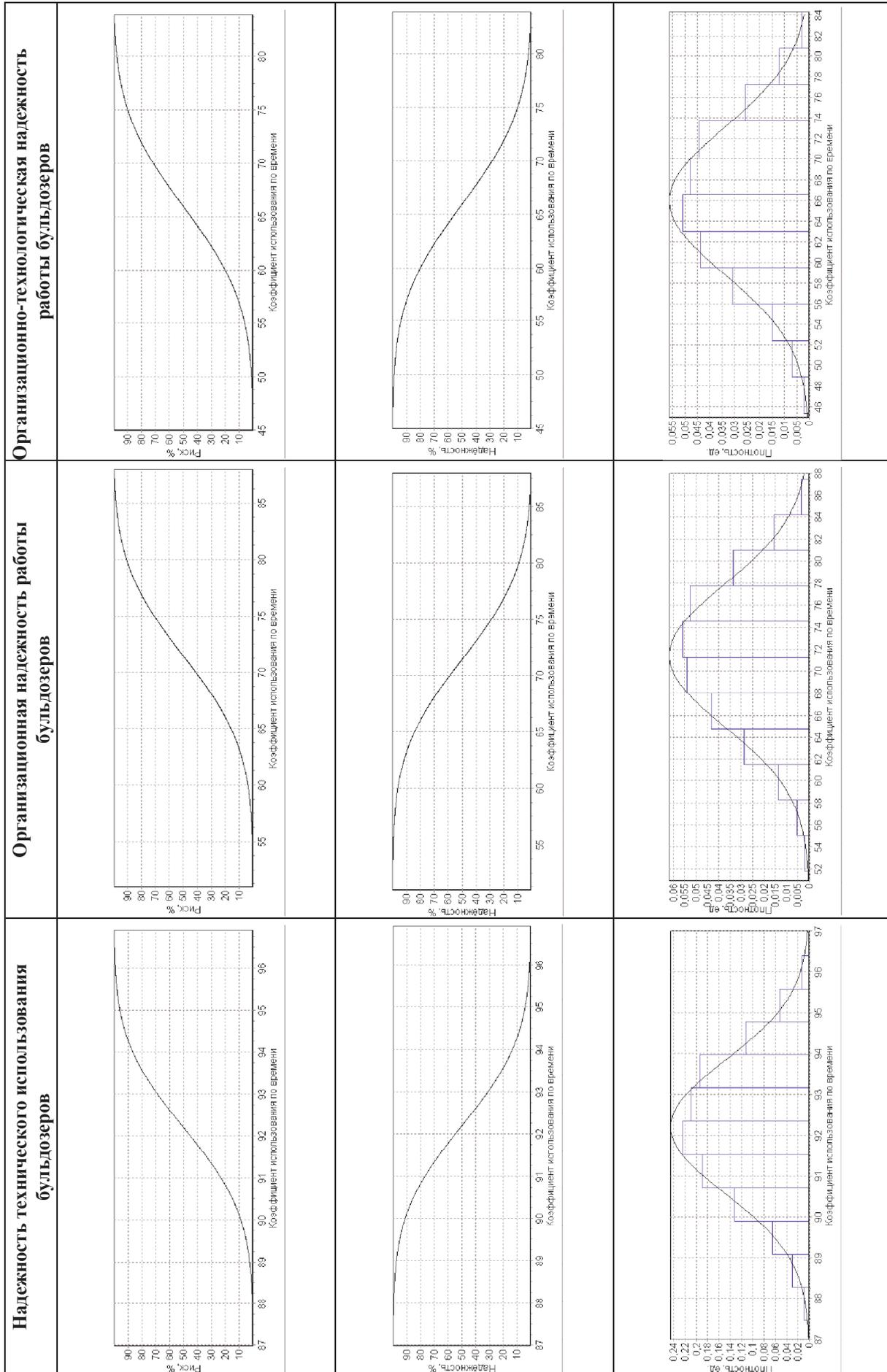


Рис. 1. Зависимость между плотностью, надежностью, риском и коэффициентом использования по времени в процентах при ежемесячной технической, организационной и организационно-технологической надежности работы бульдозеров

Расчет надежности работы бульдозера при $\Pi_T < \overline{\Pi_B}$ (рис. 3) производится по формуле [4]:

$$H = 50 + \frac{100}{\sigma_B^{\Pi} \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{\Pi_T}^{\overline{\Pi_B}} e^{-\frac{(\Pi_B - \overline{\Pi_B})^2}{2\sigma_B^{\Pi 2}}} d\Pi_B. \quad (6)$$

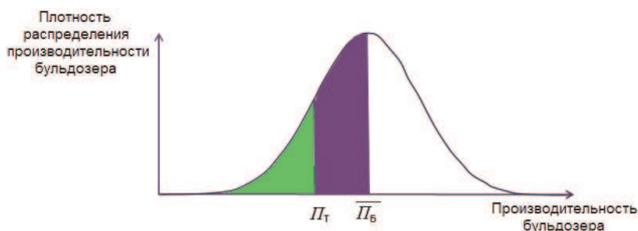


Рис. 3. Плотность распределения производительности бульдозера

Заключение

Авторами рекомендуется при оценке производительности строительных землеройных машин учитывать надежность их работы, что способствует повышению надежности строительства, составлению более реальных ПОС, ППР и календарных графиков производства строительно-монтажных работ. Для этого в формулу производительности следует подставлять соответствующий коэффициент использования машин по времени: при отказе техники или при организационно-эксплуатационной надежности производства

работ, или общей надежности (при отказе техники и организационно-эксплуатационной надежности производства работ).

Литература

1. Гусаков А.А., Ильин Н.И. Организационно-технологическая надёжность строительства. М.: Стройиздат, 1984. 169 с.
2. Исаков А.Л., Кузнецова К.С., Кузнецов С.М. Оптимизация работы комплекса машин при строительстве объектов // Изв. вузов. Строительство. 2012. № 1. С. 52–57.
3. Кузнецов С.М., Кузнецова К.С. Обработка результатов натурных испытаний при техническом и тарифном нормировании // Экономика 2010. №7. С. 88–99.
4. Исаков А.Л., Кузнецова К.С., Кузнецов С.М. Оптимизация работы комплекса машин // Экономика 2013. № 1. С. 85–91.

References

1. Gusakov A.A., Ilyin N.I. Organizational and technological reliability of construction. M.: Stroyizdat. 1984. 169 s.
2. Isakov A.L., Kuznetsova K.S., Kuznetsov S.M. Optimization of a machines group operation in project construction // Izv. vuzov. Stroitel'stvo. 2012. № 1. S. 52–57.
3. Kuznetsov S.M., Kuznetsova K.S. The processing of full-scale tests results at a rate and tariff setting // Ekonomika. 2010. №. 7. S. 88 – 99.
4. Isakov A.L., Kuznetsova K.S., Kuznetsov S.M. Optimization of a machine group operation // Ekonomika. 2013. № 1. S. 85 – 91.

УДК 69.002.5

Основы методики расчета электромагнитных вибровозбудителей, используемых в смесительных агрегатах

И.М. Ефремов^{1, а}, В.А. Кузьмичев^{2, б}

¹Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

²Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, ул. Политехническая 29, Санкт-Петербург, Россия

^аsdm@brstu.ru, ^бkuzmichev_va@mail.ru

Статья поступила 15.05.2013, принята 15.08.2013

Реализация внедрения способа вибрационного перемешивания дающая несомненные перспективы, как в области получения качественных материалов, так и в области создания высокопроизводительных агрегатов, недоходит до практического использования. Одна из причин этих тенденций кроется в отсутствии надежных конструкций и современных методик расчета оптимальных параметров. В статье для устранения обозначенных проблем предлагается использовать в качестве виброактиваторов оболочечные элементы в виде силифонов и наборных конструкций, а для создания вибрационного поля использование электромагнитных вибровозбудителей, отличающихся надежностью, малым энергопотреблением и небольшими габаритными размерами. Кроме того авторами предлагается методика расчета основных параметров вибровозбудителей, опирающаяся на теорию колебаний. Математические зависимости приведенные в статье, плод глубоких теоретических и многочисленных экспериментальных исследований, определяют оптимальные параметры при выборе режимов работы агрегата и его геометрических и кинематических параметров. Полученное в работе сравнение результатов расчетов основных параметров вибровозбудителя колебаний свидетельствует о приемлемости полученных выражений для инженерных расчетов при внедрении электромагнитных вибровозбудителей в качестве привода виброактиваторов в смесительных агрегатах принудительного действия, что позволяет отказаться от трудоемкого конечно-элементного моделирования.

Ключевые слова: электромагнитные вибровозбудители, оболочечные виброактиваторы, теория колебаний.