

УДК 69.05

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ЭКСКАВАТОРНЫХ КОМПЛЕКТОВ

О. В. Демиденко¹, С. М. Кузнецов², Н. Е. Алексеев¹

¹НОУ ВПО Омская гуманитарная академия, Россия, г. Омск;

²Сибирский государственный университет путей сообщения, Россия, г. Новосибирск.

Аннотация. В статье предложен алгоритм оценки надежности работы комплексов, комплексов и отдельных машин с помощью статистической информации по результатам натурных испытаний или моделирования работы последних методом Монте-Карло. С помощью этого метода можно сформировать выборку и рассчитать основные показатели выборки работы строительных машин на любом объекте. Это позволит достоверно прогнозировать срок производства строительно-монтажных работ еще на стадии проектирования строительства. В статье определены показатели организационно-технологической надежности работы машин, нормы времени, производительности и стоимости разработки 1000 м³ грунта, а также время работы, простоев и технологических перерывов экскаваторных комплексов за смену.

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

Введение

Строительное производство подвержено воздействию случайных факторов, оказывающих влияние на качество и сроки выполнения технологических операций, производительность строительных машин, занятых в производственном процессе. Как следствие возникают простои средств механизации, отклонения технологических, технических и экономических параметров от плановых значений [1]. Это влечет непроизводительные затраты материальных, трудовых, энергетических и денежных ресурсов и приводит к существенному удорожанию инвестиционных строительных проектов. Строительное производство, как сложная вероятностная система находится в состоянии повышенного риска по обеспечению срока осуществления инвестиционного строительного проекта, стоимости и энергоёмкости строительно-монтажных работ. Инвестиционный строительный проект при этом рассматривается как система, направленная на достижение конечной цели – возведения объектов в установленные сроки с заданными показателями надежности. Эффективность капитальных вложений в строительство зданий в значительной степени зависит от организационно-технологических решений

Существующая система оптимизации парков, комплексов и комплексов строительных машин не предусматривает оценку организационно-технологической

надежности (ОТН) строительства. Под организационно-технологической надежностью понимается вероятность достижения проектных (рекомендуемых) параметров механизированного строительного производства. В основу разработки принципа ОТН заложен вероятностно-статистический подход. При детальном изучении специфики работы системы машин в строительном производстве, многообразных, многочисленных организационно-технологических отклонений и других дестабилизирующих производство факторов, приводящих к изменению параметров работы специализированных по видам работ комплексов машин, а также принципов взаимодействия этих факторов с имеющимися сбоями позволяет рассчитать ОТН строительства [1-3].

Проведенный профессорами А.А. Гусаковым, В.Б. Пермяковым, В.Н. Ивановым и другими экспертный анализ показателя ОТН календарного плана строительства показывает, что наиболее рациональными значениями ОТН продолжительности производства работ являются значения в диапазоне от 0,5 до 0,7. Превышение этих значений, приближение ОТН к единице свидетельствует о так называемой избыточной надежности, т.е. перерасходе вкладываемых в обеспечение надежности строительства ресурсов. Оценка ОТН 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 [4].

Надежность работы экскаваторных комплектов

Производительность строительной машины является одним из важнейших технико-экономических показателей. Вследствие влияния погодных, производственных условий, технического состояния, организации и вида работ, квалификации машиниста и других факторов конкретная производительность строительной машины в каждом случае будет различной, то есть реальная производительность случайная величина и заранее точно предсказать её невозможно. В связи с этим ещё на стадии проектирования необходимо использовать вероятностные представления о производительности строительных машин, позволяющие учесть возможность отклонений фактических параметров рабочих операций от намеченных, увеличения сроков выполнения работ и продолжительности инвестиционного строительного проекта. Производительность является главным параметром, по которому подбирают комплект машин для комплексной механизации технологически связанных трудоемких процессов в строительстве.

Под экскаваторным комплектом понимается технологический комплект, включающий экскаватор для разработки грунта и автомобили-самосвалы для транспортировки грунта к месту производства работ.

Рассмотрим вероятностную модель работы экскаваторных комплектов, применяемых при строительстве зданий и сооружений.

Пусть n_i – количество экскаваторных комплектов i -го вида в комплексе из m видов строительных машин, тогда они в сумме составляют $\sum_{i=1}^{i=m} n_i = N$, где N – общее количество строительных машин в комплексе. Рассматривая в качестве независимых переменных n_i , запишем выражение производительности экскаваторного комплекса

$$P_K = \sum_{i=1}^{i=m} n_i \cdot P_i, \quad (1)$$

где P_i , – производительность работы i -го экскаваторного комплекта.

Далее определяется средняя производительность

$$\overline{P_i} = \frac{\sum_{i=1}^{i=m} P_i}{m}. \quad (2)$$

По рассчитанному значению средней производительности работы формируем экскаваторный комплект с минимальным риском его работы.

Риск работы экскаваторного комплекса по производительности определяется по формуле

$$r_K^{\Pi} = \sqrt{V_K^{\Pi}}, \quad (3)$$

где V_K^{Π} – вариация отклонения от среднего значения производительности комплекта машин.

Производительность экскаваторного комплекса (P_K) должна быть больше суммы требуемой производительности (P_T) и риска комплекса строительных машин по производительности (r_K^{Π})

В [5, 6] предлагается производительность комплекса (комплектов и отдельных машин) машин для строительства объектов оценивать по условию

$$P_K \geq P_T - r_K^{\Pi}, \quad (4)$$

где P_T – требуемая производительность комплекса машин за планируемое время выполнения работ.

Если условие (4) выполняется, то комплекс машин рекомендуется к применению для строительства объекта и разрабатываются мероприятия по его эффективному использованию. Если условие (4) не выполняется, то по формуле (5) вычисляем требуемую производительность комплекса строительных машин

$$P_T = P_K + r_K^{\Pi}. \quad (5)$$

В результате будет сформирован комплекс с минимальным риском по производительности.

Критерием оценки организационно-технологической надежности работы строительных машин может быть любой показатель работы, находящийся в выборке (производительность, продолжительность работ, энергоёмкость, стоимость единицы продукции, прибыль и т.д.). Основным показателем для оценки эффективности работы комплексов машин авторы

СТРОИТЕЛЬСТВО. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

предлагают считать себестоимость производства работ.

Одним из основных факторов ОТН работы строительных машин является коэффициент использования их по времени. Во всех нормативных документах приводятся устаревшие (30-летней давности) данные по коэффициентам использования машин в течение рабочего времени, которые требуют обновления, так как машины постоянно обновляются и совершенствуются. Для оценки организационно-технологической надежности работы строительных машин в Сибирском государственном университете путей сообщения создана база данных по результатам натурных испытаний земснарядов, экскаваторов и трубоукладчиков. Для доказательства обоснованности значений базы данных по результатам натурных испытаний проводились два этапа проверки (очистки) [7, 8]: *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 [9] определяется её принадлежность к известному закону распределения случайной величины (нормальному, логарифмически нормальному, равномерному, Вейбулла, Пуассона, Рэлея, экспоненциальному, а также гамма и бета распределению) и строится соответствующая кривая распределения. Проведенные исследования показали, что при уровне значимости 0,05 все приведенные в таблицах 1 – 3 показатели подчиняются нормальному закону распределения. Количество проведенных опытов составило 624.

Таблица 1 – Показатели работы комплекта строительных машин

Показатель	Время работы за смену, ч	Время простоев за смену, ч	Время технологических перерывов, ч
Размах вариации	2,71	1,94	3,54
Выборочное среднее значение фактора	5,13	0,80	2,07
Среднее квадратическое отклонение фактора	0,488	0,390	0,632
Стандартное отклонение фактора	0,489	0,391	0,633
Средняя квадратическая ошибка фактора	0,020	0,016	0,025
Ошибка в % от среднего значения фактора	0,382	1,953	1,221
Эмпирическая дисперсия выборки	0,239	0,153	0,401
Вариации отклонения от среднего значения	0,157	0,100	0,260
Риск отклонения от среднего значения	0,396	0,316	0,510
Коэффициент вариации	9,53	48,76	30,49
Вычисленное значение критерия Пирсона	0,011	0,009	0,012
Табличное значение критерия Пирсона	14,07	14,07	14,07

Таблица 2 – Техничко-экономические показатели комплекта строительных машин

Показатель	Норма времени на 1000 м ³ , маш.-ч	Производительность, м ³ /ч	Стоимость разработки 1000 м ³ грунта, р.
Размах вариации	3,83	78,12	5789,87
Выборочное среднее значение фактора	6,98	144,6	9463,9
Среднее квадратическое отклонение фактора	0,693	14,08	1013,7
Стандартное отклонение фактора	0,693	14,09	1014,5
Средняя квадратическая ошибка фактора	0,028	0,564	40,6
Ошибка в % от среднего значения фактора	0,398	0,390	0,429
Эмпирическая дисперсия выборки	0,481	198,47	1029256
Вариации отклонения от среднего значения	0,307	128,37	657661,2
Риск отклонения от среднего значения	0,554	11,33	811,0
Коэффициент вариации	9,92	9,73	10,71
Вычисленное значение критерия Пирсона	0,05	0,007	0,023
Табличное значение критерия Пирсона	14,07	14,07	14,07

При анализе работы машин в данной статье рассмотрены коэффициент использования по времени и комплексные показатели надежности: коэффициент

готовности, коэффициент использования и коэффициент эффективности [9].

Таблица 3 – Показатели коэффициентов надежности комплекта строительных машин

Показатель	Коэффициент использования по времени	Коэффициент готовности	Коэффициент технического использования	Коэффициент эффективности
Размах вариации	0,339	0,242	0,441	0,363
Выборочное среднее значение фактора	0,641	0,900	0,714	0,870
Среднее квадратическое отклонение фактора	0,061	0,049	0,080	0,086
Стандартное отклонение фактора	0,061	0,049	0,080	0,086
Средняя квадратическая ошибка фактора	0,002	0,002	0,003	0,003
Ошибка в % от среднего значения фактора	0,382	0,217	0,447	0,396
Эмпирическая дисперсия выборки	0,0037	0,0024	0,0064	0,0074
Вариации отклонения от среднего значения	0,0024	0,0016	0,0041	0,0050
Риск отклонения от среднего значения	0,049	0,040	0,064	0,071
Коэффициент вариации	9,53	5,42	11,16	9,89
Вычисленное значение критерия Пирсона	0,012	0,006	0,026	0,026
Табличное значение критерия Пирсона	14,07	14,07	14,07	14,07

В базе данных хранится информация по ежемесячному использованию экскаваторов. В результате обработки статистической информации с помощью программы «*Sample*» получена следующая информация (таблицы 1 – 3). Средневзвешенная величина коэффициента использования экскаваторов по времени (таблица 3) составила 0,641, среднее квадратическое отклонение фактора

– 0,061 и вычисленное значение критерия Пирсона (0,012) меньше табличного значения (14,07) значит, выборка подчиняется закону нормального распределения. Кривая нормального распределения коэффициентов использования экскаваторов по времени приведена на рисунке 1. Надежность коэффициента использования по времени показана на рисунке 2.

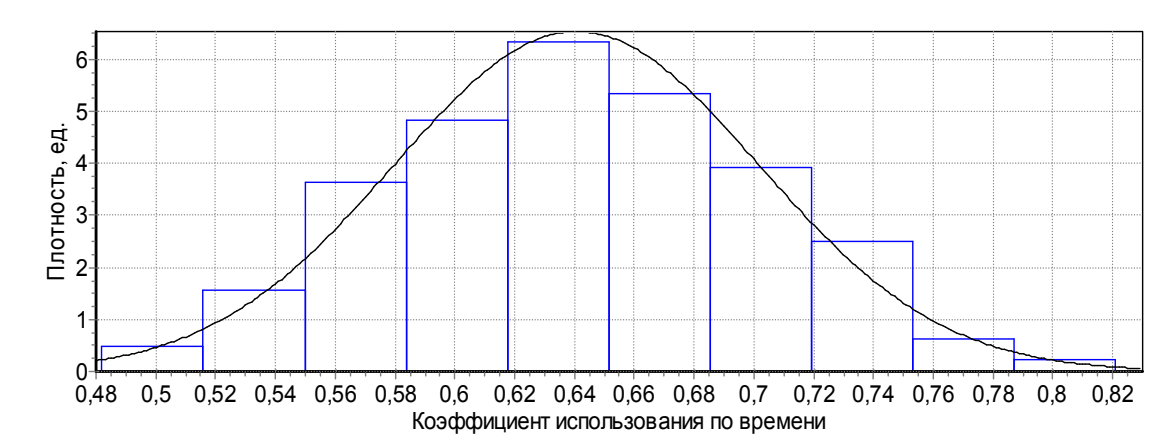


Рис. 1. Плотность распределения вероятностей коэффициента использования по времени

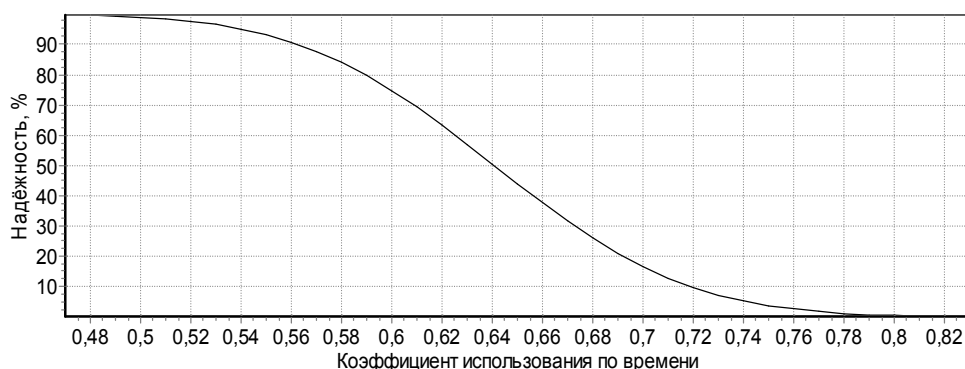


Рис. 2. Надежность коэффициента использования по времени

Расчет организационно-технологической надежности экскаватора (рисунок 3) производится по формуле [6]

$$O_{TH} = 100 - \frac{100}{\sigma_{\Pi} \sqrt{2\pi}} \int_0^{\Pi_T} e^{-\frac{(\Pi_3 - \overline{\Pi_3})^2}{2\sigma_{\Pi}^2}} d\Pi_3, \quad (6)$$

где Π_T – требуемая производительность экскаватора; Π_3 – значение производительности экскаватора; $\overline{\Pi_3}$ – средняя производительность экскаватора; σ_{Π} – среднее квадратическое отклонение производительности экскаватора.

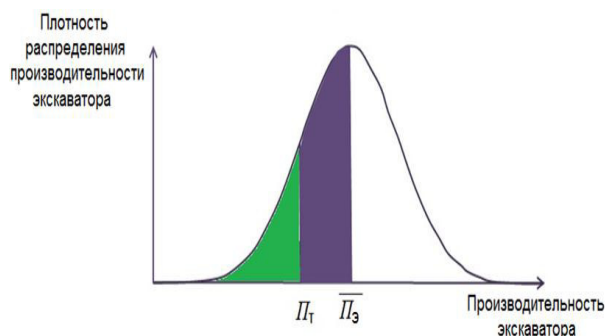


Рис. 3. Плотность распределения производительности экскаватора

Заключение

1. Приведенный в нормативных документах коэффициент использования по времени дает осредненную оценку эксплуатации машин для всей России. Точность такого показателя оставляет желать лучшего. Не может быть одинаковым коэффициент использования по времени в Сибири и в Сочи.

2. При расчете эксплуатационной производительности строительных машин следует использовать математическое ожидание или выборочное среднее значение коэффициента использования машин по

времени в конкретной организации. Это позволит более эффективно учитывать организационно-технологическую надежность их работы, что способствует повышению ОТН строительства, составлению более реальных проектов организации строительства и проектов производства работ.

3. Рекомендуется при оценке коэффициента использования машин по времени рассматривать их комплексные показатели надежности, что способствует повышению надежности календарных графиков производства строительно-монтажных работ.

4. Предложенный инструментарий для обоснования коэффициентов использования машин по времени, а следовательно, и для обоснования эксплуатационной производительности работы экскаваторов (эксплуатационная производительность равна технической умноженной на коэффициент использования по времени) при принятии управленческих решений для применения машин, комплектов и систем с учетом организационно-технологической надежности их работы позволяет принимать управленческие решения с разумной, реальной надежностью.

Библиографический список

1. Финансовые аспекты предпринимательства в новой экономике: моногр. / Под общ. ред. О. Ю. Патласова. – Омск: НОУ ВПО ОмГА, 2013. – 300 с.
2. Кузнецова, К.С. Рациональные области использования экскаваторных комплектов / К.С. Кузнецова // Механизация строительства. – 2011. – № 1. – С. 22-24.
3. Демиденко, О.В. Экономико-математическая модель работы стреловых кранов / О.В. Демиденко, В.Н. Анферов, С.М. Кузнецов, М.Ю. Серов, С.И. Васильев // Омский научный вестник. ОмГТУ. – 2013. – № 3 (119). – С. 74-80.
4. Демиденко, О. В. Экономико-математическая модель транспортно-технологического процесса в строительстве / О. В.

Демиденко // Наука о человеке: гуманитарные исследования. – 2013. – №4 (14). – С. 20–25.

5. Александров, А.Н. Организационно-технологическая надежность экскаваторных комплексов / А.Н. Александров, К.С. Кузнецова // Механизация строительства. – 2010. – № 12. – С. 24-28.

6. Щепотин, Г.К. Оценка надежности технологического процесса / Г. К. Щепотин // Известия вузов. Строительство. – 2013. – № 10. – С. 33-37.

7. Мосаков, Б.С. Повышение организационно-технологической надежности процесса обеспечения безопасности транспортного потока / Б.С. Мосаков, Г.К. Щепотин // Известия вузов. Строительство. – 2014. – № 2. – С. 40-45.

8. Герасимов, В.В. Оценка организационно-технологической безопасности строительных проектов/ В.В. Герасимов, О.А. Коробова, А.Т. Пименов, О.Ю. Михальченко // Известия вузов. Строительство. – 2012. – № 3. – С. 21–27.

9. ГОСТ Р 8.736 – 2011. Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. – Введ. 2013 – 01 – 01. – М.: Изд-во стандартов, 2011. – Режим доступа: http://www.elec.ru/library/gosts_t8/gost-r-8736-2011.

MODELLING OF ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL OPERATION RELIABILITY OF EXCAVATOR SETS

O.V. Demidenko, S.M. Kuznetsov, N.E. Alekseev

Abstract. This authors propose an algorithm for estimating the operation reliability of complexes, sets and separate machines using statistical information based on the results of full-scale tests or modeling of their operation by Monte Carlo's method. With this method it is possible to form a sample and calculate the basic parameters of the samples of construction machinery's operation on any object. This will allow predicting for certain the period of construction and installation works at the design stage of construction. The authors determine the indicators of organizational and technological reliability of machines, standard of time, performance and cost of developing 1000 m³ of soil, as well as hours of operation, shutdowns and technological stops of excavator sets per shift.

Keywords: organizational and technological reliability, organizational and technological risk, performance, excavator set, construction machines.

References

1. Finansovye aspekty predprinimatel'stva v novoj jekonomike: monogr. Pod obshh. red. O. Y. Patlasova [The financial aspects of the entrepreneurship in the new economy: monograph. Under the general editorship of O.U. Patlasova]. Omsk: NOU VPO OmGA, 2013. 300 p.

2. Kuznetsova K.S. Racional'nye oblasti ispol'zovanija jekskavatornyh komplektov [Rational use of excavator sets]. *Mehanizacija stroitel'stva*, 2011. -№ 1. С. 22 - 24.

3. Demidenko O.V., Anferov V.N., Kuznetsov S.M., Serov M.Y., Vasiliev S.I. Jekonomiko-matematicheskaja model' raboty strelovyh kranov [Economical and mathematical model of jib cranes' work]. // *Omskij nauchnyj vestnik*, 2013, no 3 (119). pp. 74-80.

4. Demidenko O.V. Jekonomiko-matematicheskaja model' transportno-tehnologicheskogo processa v stroitel'stve [Economical and mathematical model of transport and technological process in the construction]. *Nauka o cheloveke: gumanitarnye issledovanija*, 2013, no 4 (14). pp. 20-25.

5. Aleksandrov A.N., Kuznetsova K.S. Organizacionno-tehnologicheskaja nadezhnost' jekskavatornyh komplektov [Organizational and technological reliability of excavator sets]. *Mehanizacija stroitel'stva*, 2010, no 12. pp. 24 - 28.

6. Shchepotin G.K. Ocenka nadezhnosti tehnologicheskogo processa [Assessment of technological process' reliability]. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo*, 2013, no 10. pp. 33 - 37.

7. Mosakov B.S., Shchepotin G.K. Povyshenie organizacionno-tehnologicheskoy nadezhnosti processa obespechenija bezopasnosti transportnogo potoka [Improving organizational and technological reliability of the process of ensuring traffic's safety]. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo*, 2014, no 2. pp. 40 - 45.

8. Gerasimov V.V., Korobov O.A., Pimenov A.T., Mihalchenko O.Y. Ocenka organizacionno-tehnologicheskoy bezopasnosti stroitel'nyh proektov [Assessment of organizational and technological safety of construction projects]. *Izvestija vuzov. Stroitel'stvo*, 2012, no 3. pp. 21 - 27.

9. State standard 8.736-2011 [State system for ensuring the uniformity of measurements. Direct multiple measurements. Methods of processing measurement results. Available at: http://www.elec.ru/library/gosts_t8/gost-r-8736-2011.

Демиденко Ольга Владимировна (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Коммерции, маркетинга и рекламы» НОУ ВПО Омская гуманитарная академия; доцент кафедры «Организация и технология строительства» ФГБОУ ВПО «СибАДИ». (644115, г. Омск, ул. 4-я Челюскинцев, 2а, e-mail: dovanddms@yandex.ru).

Кузнецов Сергей Михайлович (Россия, г. Новосибирск) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Технология, организация и экономика строительства» Сибирского государственного университета путей сообщения (630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, e-mail: ksm56@yandex.ru).

Алексеев Николай Евгеньевич (Россия, г. Омск) – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Коммерции, маркетинга и рекламы» НОУ ВПО Омская гуманитарная академия; доцент кафедры «Общая экономика и право» ФГБОУ ВПО «СибАДИ». (644115, г. Омск, ул. 4-я Челюскинцев, 2а, e-mail: oeip@mail.ru).

Demidenko Olga Vladimirovna (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, associate professor of the department «Commerce, marketing and advertising» of Omsk Humanitarian Academy; associate professor of the department «Organization and technology of construction» of The Siberian state automobile and highway academy (SibADI) (644115, Omsk, 4th 2a Chelyuskintsev st., e-mail: dovanddms@yandex.ru).

Kuznetsov Sergey Mikhailovich (Russian Federation, Novosibirsk) – candidate of technical sciences, associate professor of the department «Technology, organization and economy of

construction» of the Siberian State Transport University (630049, Novosibirsk, 191 D. Kovalchuk st., e-mail: ksm56@yandex.ru).

Alekseev Nikolai Evgenievich (Russian Federation, Omsk) – candidate of economic sciences, associate professor of the department «Commerce, marketing and advertising» of Omsk Humanitarian Academy; associate professor of the department «General economics and law» of The Siberian state automobile and highway academy (SibADI) (644115, Omsk, st. 4th Chelyuskintsev 2a, e-mail: oeip@mail.ru).

УДК 624.131.042

РАСЧЕТНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ ВЕТРОВОЙ НАГРУЗКИ С ЗАДАННОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТЬЮ

Ю. В. Краснощеков, М. Ю. Заполева

¹ФГБОУ ВПО «СибАДИ» Россия, г. Омск;

²ОАО СМУ №175 «Радиострой».

Аннотация. В статье анализируются вероятностные модели статической составляющей ветровой нагрузки и сравниваются расчетные значения, полученные по каждой из моделей с разной «срочной» обеспеченностью. Авторы приходят к выводу, что обеспеченность нормативных значений ветровой нагрузки метода предельных состояний соответствует 5 – летнему периоду, а расчетных значений 50 – летнему. Приводятся таблицы с расчетными значениями ветровой нагрузки для всех ветровых районов, удобные для применения при проектировании высоких сооружений.

Ключевые слова: надежность, ветровая нагрузка, вероятностные модели, обеспеченность расчетных значений.

Введение

Надежность сооружений зависит от обеспеченности расчетных значений, характеризующих свойства конструкций и внешние воздействия. Недостаточность знаний и связанные с ней неопределенности вынуждают повышать запасы, особенно при оценке временных нагрузок. Снизить необоснованные запасы и тем самым повысить эффективность конструкций можно путем нормирования нагрузок с учетом проектируемого срока службы сооружения [1]. В статье приведены результаты анализа вероятностных моделей ветровой нагрузки с целью получения расчетных значений на заданный срок эксплуатации.

Особенности нормирования ветровой нагрузки

Основными характеристиками ветровой нагрузки является плотность воздуха γ и скорость ветра v . Это следует из уравнения Бернулли, которое применяется для определения статической составляющей давления ветра [2]:

$$w = \frac{\gamma v^2}{2}, \quad (1)$$

где v – средняя скорость ветра (м/сек).

Объединенный комитет по надежности конструкций (JCSS) рекомендует определять среднее давление скорости ветра по формуле (1) при $\gamma = 1.25 \text{ кг/м}^3$ [3].

В подобном виде при $\gamma = 1.22 \text{ кг/м}^3$ определялось нормативное значение ветрового давления w_0 в Па по СНиП 2.01-07-85:

$$w_0 = 0,61 v_0^2. \quad (2)$$

При этом v_0 – скорость ветра, соответствующая 10 – минутному интервалу осреднения и превышаемая в среднем один раз в 5 лет. Так как коэффициент 0,61 не зависит от изменчивости скорости ветра, то можно утверждать, что обеспеченности скорости ветра и ветрового давления в формуле (2) идентичны.

Например, для Москвы значение скорости, превышаемое (в среднем) один раз за 5 лет, $v_5 = 19,75 \text{ м/сек}$ [4]. По формуле (2) получаем $w = 0,61 \cdot 19,75^2 = 238 \text{ Па}$ и поэтому