

References

1. Polimerno-bitumnye vjazhushhie na osnove SBS dlja dorozhnogo stroitel'stva [Polymeric and bituminous knitting on the basis of SBS for road construction]. Moscow, 2002. 112 p.

2. King G.N., Radovskij B.S. Svoystva polimerno-bitumnyh vjazhushhih i razrabatyvaemye v SShA metody ispytaniy [Properties polymeric and bituminous knitting and the test methods developed in the USA]. *Materialy i konstrukcii*, 2004, Oktjabr'. pp. 16 – 27.

3. Ivan'ski M., Ur'ev N.B. *Asfal'tobeton kak kompozitsionnyj material (s nanodispersnymi i polimernymi komponentami): monografija* [Asfaltobeton as composite material]. Moscow, Tehpoligrafcentr, 2007. 668 p.

4. *Rekomendacii po ispol'zovaniju polimer-bitumnyh vjazhushhih materialov na osnove blokopolimerov tipa SBS pri stroitel'stve i rekonstrukcii avtomobil'nyh dorog. ODM 218.2003-2007* [Recommendations about use of the polymer-bituminous knitting materials on the basis of block copolymers like SBS at construction and reconstruction of highways. ODM 218.2003-2007]. Moscow, Rosavtodor, 2007. 120 p.

5. Gohman L.M. Raschet sostava polimerno-bitumnogo vjazhushhego [Calculation of structure polymeric and bituminous knitting]. *Nauka i tehnika v dorozhnoj otrasli*, 2008, no 4. pp. 33 – 34.

6. Galdina V.D. Modelirovanie na JeVM pod-bora sostava polimerno-bitumnogo vjazhushhego [Modeling on the COMPUTER of selection of structure polymeric and bituminous knitting]. *Vestnik TGASU*, 2011, no 4. pp. 132 – 138.

7. *Osnovy planirovanija nauchno-issledovatel'skogo jeksperimenta* [Bases of planning of research experiment]. M. Augambaev, A.Z. Ivanov, Ju.I. Terehov; pod red. G.M. Rudakova. Tashkent: Ukituvchi, 2004. 336 p.

8. *Tablicy planov jeksperimenta dlja faktor-nyh i polinomial'nyh modelej: spravochnoe iz-danie* [Tables of plans of experiment for factorial and polynomial models]. V.Z. Brodskij. M.oscow, Metallurgija, 1982. 752 p.

*Галдина Вера Дмитриевна (Россия, г. Омск) – кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные материалы и специальные технологии» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: galdin\_ns@s ibadi.org).*

*Черногородова Мария Сергеевна (Россия, г. Омск) – аспирант кафедры «Подъемно-транспортные, тяговые машины и гидропривод» ФГБОУ ВПО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: www.mamarya@mail.ru).*

*Galdina Vera Dmitriyevna (Russian Federation, Omsk) – candidate of technical sciences, the associate professor "Construction materials and special technologies" of The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: galdin\_ns@s ibadi.org).*

*Chernogorodova Maria Sergejevna (Russian Federatuion, Omsk) – graduate student of "Hoisting-and-transport, Traction Cars and Hydraulic Actuator" chair of The Siberian automobile and highway academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira Ave., 5, e-mail: www .mamarya@mail.ru).*

УДК 69.05

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОБОСНОВАНИЯ ОЧЕРЕДНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ**

О.В. Демиденко<sup>1</sup>, С.М. Кузнецов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НОУ ВПО Омская гуманитарная академия, Россия, г. Омск;

<sup>2</sup>Сибирский государственный университет путей сообщения, Россия, г. Новосибирск.

**Аннотация.** В статье предложен метод оценки организационно-технологического риска строительных, транспортно-технологических и механизированных процессов. Ведущим процессом при выполнении строительного-монтажных работ являются машины и механизмы. Для успешного выполнения производственной программы строительной организации необходимо совместное надежное функционирование транспортно-технологического процесса, строительных бригад, строительных машин и механизмов. Разработанная модель обоснования очередности возведения зданий и сооружений позволит с заданной надежностью рассчитать время их строительства, повысить эффективность использования подвижного состава, строительных машин и бригад за счет их ритмичной и бесперебойной работы.

**Ключевые слова:** транспортно-технологический процесс, оптимизация, очередность строительства объектов, организационно-технологический риск, строительные машины.

**Введение**

Транспортно-технологический процесс представляет собой систему, цель которой

обеспечение непрерывной работы строительных потоков с минимальными затратами. В соответствии с поставленной перед систе-

мой целью транспортно-технологический процесс составляют следующие технологические операции: погрузка, разгрузка, транспортировка и потребление. В выполнении этого комплекса операций участвуют управления механизации, заводы-поставщики, комплектующие, транспортные и строительные организации. Операции транспортно-технологического процесса выполняются с использованием подвижного состава и строительных машин. Проблемам транспортно-технологического процесса в строительстве посвящены труды многих ученых. Обзор литературы показал, что сложившаяся в настоящее время транспортно-технологическая подсистема в строительстве не гарантирует доставку грузов на стройки в запланированное время и необходимыми комплектами. В результате, увеличиваются сроки строительства объектов и стоимость их возведения.

Таким образом, в данной теме имеются вопросы, требующие более детального и углубленного исследования.

### **Оптимизация строительных процессов**

Транспортное обеспечение – неотъемлемая часть строительного производства, эффективность строительных потоков в значительной степени зависит от своевременного и качественного их материально-технического обеспечения. Учитывая, что затраты на перевозку строительных грузов и связанных с ними погрузочно-разгрузочных операций составляют от 14 до 30 % общей стоимости объекта и имеют тенденцию к увеличению, инженерная подготовка строительных процессов должна осуществляться с учетом их транспортно-технологического обеспечения.

Исследование функционирования транспортно-технологического процесса начинается с разработки согласно [1] организационно-технологических моделей процессов возведения строительных объектов, на основании которых выявлены и обоснованы ежедневные потребности в материальных ресурсах для выполнения основных этапов строительства. Это необходимо для принятия управленческих решений по определению рациональных типов и количества транспортных средств и строительных машин.

Критерием эффективности выбора рациональных типов транспортных средств и строительных машин является максимум производительности и коэффициента исполь-

зования рабочего времени, а также минимум себестоимости [2]. После определения целесообразных типов транспортных средств возникает необходимость проведения эксперимента. В качестве метода эксперимента выбирается выборочный метод, задачей которого является прогноз продолжительности выполнения операций транспортно-технологического процесса. Уровень достоверной вероятности результатов исследования составил 95%. Согласно экспериментальным данным затрат времени на выполнение транспортных операций установлены незначительные отклонения от плановых величин. При выполнении погрузочных и разгрузочных операций установлены значительные отклонения от плановой величины.

Дальнейшее исследование затрат времени на погрузочно-разгрузочные операции заключается в рассмотрении их по элементам. Установлено, что непроизводительное время ожидания погрузочно-разгрузочных операций составляет значительную часть в общем времени простоя автомобилей под загрузкой и разгрузкой. Такое увеличение времени простоя транспортных средств под загрузкой и разгрузкой обуславливает снижение производительности труда, выражающееся в объемах невыполненных работ и увеличении сроков строительства.

Таким образом, возникающий риск выполнения операций транспортно-технологического процесса сопровождается появлением дефицита материалов на строительной площадке и увеличением продолжительности возведения объектов.

Минимизировать организационно-технологический риск и повысить организационно-технологическую надежность строительства предлагается с помощью рекомендаций [3]. В транспортном строительстве до 95 % объемов работ выполняются машинами, а в промышленном и гражданском строительстве около 85 %, поэтому можно утверждать, что надежность строительства в значительной степени зависит от их эффективной работы. Для оценки продолжительности строительства с минимальным риском следует проанализировать выборки коэффициентов использования по времени строительных машин. Результаты обработки выборок в соответствии с [4] при уровне значимости 0,05 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Коэффициенты использования машин по времени

Наименование показателя	Бульдозер	Буровой станок	Земснаряд	Экскаватор
Количество опытов, шт.	872	151	145	403
Количество связей, шт.	3	3	3	3
Минимальное значение фактора	0,453	0,548	0,509	0,704
Максимальное значение фактора	0,843	0,917	0,64	1,0
Выборочное среднее значение фактора	0,6597	0,7715	0,5740	0,8528
Среднее линейное отклонение фактора	0,0580	0,0684	0,0229	0,0514
Среднее квадратическое отклонение	0,0708	0,0814	0,0278	0,0627
Стандартное отклонение фактора	0,0709	0,0816	0,0279	0,0628
Средняя квадратическая ошибка фактора	0,0024	0,0066	0,0023	0,0031
Ошибка в % от среднего значения фактора	0,3640	0,8611	0,4038	0,3667
Эмпирическая дисперсия выборки	0,0050	0,0067	0,00078	0,0039
Вариации отклонения от среднего значения	0,003367	0,004681	0,000527	0,002643
Риск отклонения от среднего значения	0,0580	0,0684	0,0229	0,0514
Коэффициент вариации	0,1074	0,1055	0,0485	0,0735
Вычисленное значение критерия Пирсона	2,34	2,31	5,59	5,46
Табличное значение критерия Пирсона	8,13	7,86	7,86	8,13
Количество интервалов	11	8	8	10

Для анализа изменения продолжительности процессов при минимальном риске воспользуемся следующим уравнением

$$V_p = \bar{\Pi}_3 \cdot \bar{t} = \bar{\Pi}_{3M} \cdot t_M, \quad (1)$$

где  $V_p$  – объем работ;  $\bar{\Pi}_{3M}$  и  $\bar{\Pi}_3$  – соответственно эксплуатационная производительность при минимальном риске и средняя эксплуатационная производительность машины;  $t_M$  и  $\bar{t}$  – соответственно продолжительность работы при минимальном риске и средняя продолжительность работы машины.

Из выражения (1) находится изменение продолжительности процессов при минимальном риске

$$\frac{\bar{t}}{t_M} = \frac{\bar{\Pi}_3}{\bar{\Pi}_{3M}} = \frac{\bar{\Pi}_T \bar{K}_B}{\bar{\Pi}_T \bar{K}_{BM}} = \frac{\bar{K}_B}{\bar{K}_{BM}} = \frac{\bar{K}_B}{\bar{K}_B - r}, \quad (2)$$

где  $\bar{\Pi}_T$  – техническая производительность машины;  $\bar{K}_{BM}$  и  $\bar{K}_B$  – соответственно коэффициент использования машины по времени с минимальным риском и средний коэффициент;  $r$  – риск отклонения от среднего значения. При минимальном риске время продолжительности процесса при работе бульдозеров увеличится в раз.

$$\frac{\bar{t}}{t_M} = \frac{\bar{K}_B}{\bar{K}_B - r} = \frac{0,6597}{0,6597 - 0,0580} = 1,0964.$$

При минимальном риске время продолжительности процесса при работе бурового станка увеличится в раз.

$$\frac{\bar{t}}{t_M} = \frac{\bar{K}_B}{\bar{K}_B - r} = \frac{0,7715}{0,7715 - 0,0684} = 1,0973.$$

При минимальном риске время продолжительности процесса при работе земснаряда увеличится в раз.

$$\frac{\bar{t}}{t_M} = \frac{\bar{K}_B}{\bar{K}_B - r} = \frac{0,5740}{0,5740 - 0,0229} = 1,0416.$$

При минимальном риске время продолжительности процесса при работе экскаватора увеличится в раз.

$$\frac{\bar{t}}{t_M} = \frac{\bar{K}_B}{\bar{K}_B - r} = \frac{0,8528}{0,8528 - 0,0514} = 1,0641.$$

Проведенные авторами исследования по работе транспортно-технологического процесса за 11 летний период показали, что при минимизации организационно-технологического риска машин продолжительность строительства может увеличиться не более чем на 10 процентов.

В связи с этим, еще на стадии проектирования необходимо использовать вероятностные представления о технологии процесса и производительности машин, что позволяет учесть возможность отклонений фактических параметров рабочих операций от намеченных, увеличения сроков выполнения работ и завершения инвестиционного строительного проекта. Сроки выполнения строительно-монтажных работ определяются последовательностью включения объектов в строительный поток [5].

Авторами разработано методическое, математическое и программное обеспечение

## СТРОИТЕЛЬСТВО. СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

для автоматизации обоснования очередности строительства объектов с помощью имитационной модели процесса строительства. Количество возможных вариантов, устанавливающих очередность возведения объектов, среди которых находится и оптимальный вариант, зависит от числа возводимых объектов ( $M$ ) и определяется числом перестановок  $M!$ . Путь полного перебора всех возможных ва-

риантов является весьма трудоемким и решается только с помощью компьютера.

Программное обеспечение «Potok» позволяет определить очередность строительства объектов и распределить финансирование по всей продолжительности строительства объектов. В таблицах 2 – 4 приведены исходные данные программы.

Таблица 2 – Исходные данные

Показатель	Обозначение
Количество процессов, шт.	6
Количество объектов, шт.	4

Таблица 3 – Продолжительность работ, дн.

		Процесс					
		1	2	3	4	5	6
Объект	1	8	40	130	60	60	70
	2	15	30	130	70	80	70
	3	7	25	35	35	30	35
	4	12	20	115	45	45	55

Таблица 4 – Наименование объектов

Объект	Наименование объекта
1	12-ти этажный жилой дом в г. Новосибирске
2	Пост ЭЦ на станции Новосибирск-Главный
3	АБК локомотивного депо на станции Инская
4	9-ти этажный жилой дом в г. Новосибирске

Программное обеспечение позволяет определить оптимальную очередность возведения объектов и рассчитать минимально возможный срок строительства. Для оптимального варианта очередности включения объектов в поток с целью более наглядного представ-

ления полученного решения в программе строится циклограмма и график освоения сметной стоимости. Проведенный расчет показал, что оптимальной по продолжительности является последовательность строительства объектов, представленная в таблице 5.

Таблица 5 – Оптимальная очередность строительства объектов

Объект	Наименование объекта
1	АБК локомотивного депо на станции Инская
2	12-ти этажный жилой дом в г. Новосибирске
3	Пост ЭЦ на станции Новосибирск-Главный
4	9-ти этажный жилой дом в г. Новосибирске

На рисунке 1 показана циклограмма строительства объектов, представленных в таблице 4. Рассчитанная с помощью программы продолжительность строительства объектов является случайной величиной. Со-

гласно [6] случайной называется величина, которая в результате испытания может принять то или иное возможное значение, неизвестное заранее, но обязательно одно.

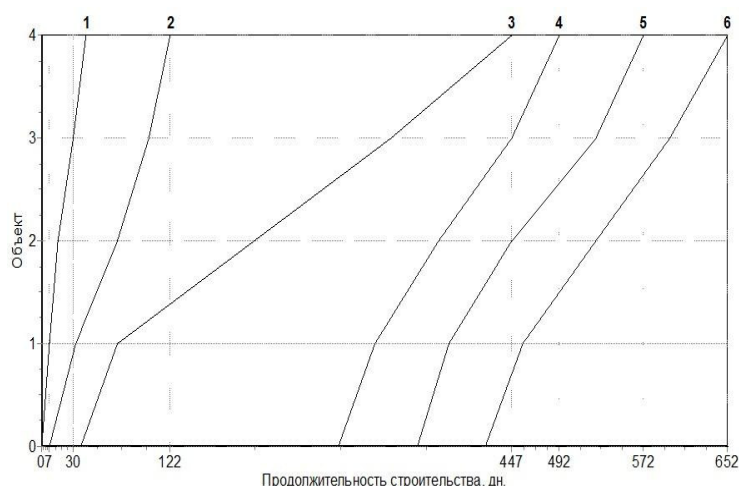


Рис. 1. Циклограмма строительства объектов

1 – земляные; 2 – нулевой цикл; 3 – монтаж коробки здания;  
4 – кровельные, столярные, стекольные работы и устройство полов; 5 – сантехнические, электротехнические, слоботочные, монтаж оборудования; 6 – отделочные работы

Для обоснования продолжительности строительства необходимо создать базы результатов натурных испытаний процессов. Информация баз данных должна быть очищена от неверных измерений. Для этой цели проводятся две проверки: логическая и математическая. Для определения продолжительности процессов с заданной вероятностью следует в нормативных документах приводить среднюю величину и среднее квадратическое отклонение нормы времени [7,8]. Тогда продолжительность выполнения процессов с минимальным риском можно будет определять по формуле

$$t = \bar{t} + r, \quad (3)$$

где  $r$  – риск продолжительности выполнения процессов;  $\bar{t}$  – средняя продолжительность выполнения процессов.

Риск продолжительности выполнения процессов определяется по формуле

$$r = \sqrt{V}, \quad (4)$$

где  $V$  – вариация отклонения от среднего значения продолжительности выполнения процессов.

Вариация отклонения от среднего значения продолжительности выполнения процессов определяется по формуле

$$V = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=n} V_{ij}}{n^2}, \quad (5)$$

где  $V_{ij}^{\Pi}$  – ковариация продолжительности выполнения процессов при использовании  $i$ -го и  $j$ -го испытания.

Ковариация продолжительности выполнения процессов при использовании  $i$ -го и  $j$ -го испытания определяется по формуле

$$V_{ij} = (t_i - \bar{t})(t_j - \bar{t}). \quad (6)$$

При наличии результатов натурных испытаний по соответствующим технологическим процессам можно рассчитать организационно-технологическую надежность строительства зданий и сооружений. Под организационно-технологической надёжностью понимается способность технологических, организационных, управленческих экономических решений обеспечивать достижение заданного результата строительного производства в условиях случайных возмущений, присущих строительству как сложной стохастической системе. Значение показателя организационно-технологической надежности во многих методиках представляет собой именно оценку вероятности выполнения проекта в расчётный срок. При этом необходимо учитывать специфику такой сложной человеко-машинной системы, как строительное производство.

#### Закключение

Предлагаемая модель обоснования очередности строительства объектов позволяет при известных объемах работ по данным натурных испытаний строительных процессов или натурных испытаний работы подвижного состава и строительных машин с большей надежностью определять продолжительность строительства. Модель является универсальной, она применима как для транспортного, так и для промышленного и гражданского строительства. Использование модели позволит с заданной надежностью рассчитать

время строительства объектов, повысить эффективность использования подвижного состава, строительных машин и бригад за счет их ритмичной и бесперебойной работы.

### Библиографический список

1. СНиП 1.04.03-85\*. Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений. М.: ЦНИИ-ОМТ, 1990. – 136 с.
2. Демиденко, О.В. Экономико-математическая модель транспортного технологического процесса в строительстве / О.В. Демиденко // Наука о человеке: гуманитарные исследования. – 2013. – №4 (14). – С. 20–25.
3. Свидетельство об отраслевой регистрации разработки 3058. Прогнозирование стоимости и продолжительности строительства зданий и сооружений / С.М. Кузнецов, Н.А. Сироткин. 19.12.2003.
4. ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений. Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения. – Режим доступа: [http://www.elec.ru/library/gosts\\_t8/gost-r-8736-2011](http://www.elec.ru/library/gosts_t8/gost-r-8736-2011).
5. Гусаков, А.А. Организационно-технологическая надёжность строительства / А.А.Гусаков, С.А. Веремеенко, А.В.Гинзбург и др. – М.: Внешторг-издат, 1994. – 472 с.
6. ГОСТ Р 53480-2009. Надёжность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2010. – 27с.
7. Щепотин, Г.К. Оценка надёжности технологического процесса / Г.К. Щепотин // Изв. вузов. Строительство. – 2013. – № 10. – С. 33 - 37.
8. Александров, А.Н. Организационно-технологическая надёжность экскаваторных комплектов / А.Н. Александров, К.С. Кузнецова // Механизация строительства. – 2010. – № 12. – С. 24 - 28.

### IMPROVEMENT OF JUSTIFICATION OF SEQUENCE OF CONSTRUCTION OF BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

O.V. Demidenko, S.M. Kuznetsov

**Abstract.** This paper proposes a method for estimating the risk of organizational and technological construction, transport technology and mechanized processes. Leading processes for construction and installation work are machines and mechanisms. For the successful implementation of the production program of the construction company must be a joint operation of reliable transport and process, construction crews, construction machines and mechanisms. The developed model study of priority construction of buildings and structures allows to more reliably determine the duration of construction, more efficient use of vehicles, construction vehicles and crews by their rhythmic and smooth operation.

**Keywords:** transport and manufacturing process, optimization, sequence of construction of facilities,

organizational and technological risk, construction cars.

### References

1. SNIP 1.04.03-85\* Standards of construction duration and backlog in the construction of enterprises, buildings and structures. Moscow, TSNIOMT, 1990. 136 p.
2. Demidenko O.V. Jekonomiko-matematicheskaja model' transportno-tehnologicheskogo processa v stroitel'stve [Economic-mathematical model of transportation and technological process in the construction]. *Nauka o cheloveke: gumanitarnye is-sledovanija*, 2013, no 4 (14). pp. 20-25.
3. Kuznetsov S.M., Sirotkin N. A. The certificate on branch registration of development No. 3058 "Forecasting of cost and duration of construction of buildings and constructions" of 19.12.2003.
4. GOST R 8.736-2011 Gosudarstvennaja sistema obespechenija edinstva izmerenij. Izmere-nija prjamyje mnogokratnye. Metody obrabotki rezul'tatov izmerenij. Osnovnye polozhenija [State standard 8.736-2011 State system for ensuring the uniformity of measurements. Direct measurement of multiple. Methods of processing the measurement results ] Available at: [http://www.elec.ru/library/gosts\\_t8/gost-r-8736-2011](http://www.elec.ru/library/gosts_t8/gost-r-8736-2011).
5. Gusakov A.A., Veremeenko S.A., Ginzburg A.V. Organizacionno-tehnologicheskaja nadjozhnost' stroitel'stva []. Moscow, Vneshtorg-izdat, 1994. 472 p.
6. GOST R 53480-2009. Nadezhnost' v tehni-ke. Terminy i opredelenija [State standard R 53480-2009. Reliability in technique. Terms and definitions]. Moscow, Standartinform, 2010. 27 p.
7. Shhepotin G.K. Ocenka nadezhnosti tehnologicheskogo processa [Assessment process reliability]. *Izv. vuzov. Stroitel'stvo*, no 10. pp. 33 - 37.
8. Aleksandrov A.N., Kuznecova K.S. Organizacionno-tehnologicheskaja nadezhnost' jekskavatoryh kom-plektov [Organizational and technological reliability excavation sets]. *Mehanizacija stroitel'stva*, 2010, no 12. pp. 24 – 28.

*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).*

*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).

УДК 625.731

### РАСЧЕТ АРМИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ КАК МНОГОСЛОЙНОЙ ПЛИТЫ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

С.А. Матвеев, Е.А. Мартынов, Н.Н. Литвинов

ФГБОУ ВПО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

**Аннотация.** В статье предложена расчетная модель армированного щебеночно-песчаного основания дорожной одежды с переменным модулем упругости, изменяющимся по глубине слоя по экспоненциальной зависимости. Расчетная модель базируется на представлении армированного слоя зернистого материала как многослойной плиты, состоящей из произвольного количества жестко сцепленных между собой сплошных слоев. Предложена методика расчета армированных оснований дорожных одежд, опирающаяся на экспериментальные данные. Рассмотрен конкретный пример расчета.

**Ключевые слова:** плита, щебеночно-песчаное основание, армирование, георешетка, расчетная модель.

#### Введение

Для укрепления дорожных одежд широко используются различные виды геосинтетики в качестве армирующих материалов. В то же время необходимо признать, что достаточно обоснованной теоретически и апробированной на практике методики расчета дорожных одежд, армированных геосинтетическими материалами, не существует. Одна из первых разработок расчетных моделей дорожных одежд, армированных объемными и плоскими георешетками, представлена в монографии [1]. Основным показателем, обосновывающим применение армирующих материалов в дорожном строительстве, является эффект армирования. Эффект армирования – процент снижения какого-либо критического параметра армированной конструкции относительно неармированной. Для случая нежестких дорожных одежд классический расчет выделяет три таких параметра: упругий прогиб покрытия, сдвиговые деформации в подстилающем грунте и растягивающие напряжения в монолитных слоях при изгибе. Два первых относятся в большей степени к основанию дорожной одежды, третий – к покрытию. Остановимся подробнее на расчете дорожных одежд по критерию упругого прогиба.

#### Постановка задачи

Требуется оценить влияние параметров армирования основания дорожной одежды на изменение упругого прогиба покрытия. За эффект армирования по прогибу примем

процент уменьшения упругого прогиба армированной конструкции, относительно неармированной

$$C_w = \left(1 - \frac{w_2}{w_1}\right) \cdot 100\% \quad (1)$$

где  $w_1$  – максимальный прогиб неармированной системы,  $w_2$  – максимальный прогиб армированной системы.

Будем рассматривать два способа оценки эффекта армирования по упругому прогибу: первый – вычисление эффекта армирования по формуле (1), в которую подставляем значения прогибов, полученные экспериментально; второй – вычисление эффекта армирования также по формуле (1), но в которую подставляем значения прогибов, вычисленные теоретически по разработанной авторами методике, представленной ниже. В качестве основной гипотезы примем, что слой щебня, который фактически представляет собой дискретную среду [2], будет вести себя как сплошная связная среда при условии, что в основании слоя размещена армирующая георешетка, воспринимающая растягивающие напряжения и тем самым обеспечивающая работу слоя как плиты на упругом основании. В таком случае для расчета армированного слоя щебеночного основания может быть использована техническая теория изгиба плит [3-6]. Будем считать, что слой щебня представляет собой сплошную плиту при на-