

Транспортные сооружения / Russian Journal of Transport Engineering <https://t-s.today>

2026, Том 13, № 2 / 2026, Vol. 13, Iss. 2 <https://t-s.today/issue-2-2026.html>

URL статьи: <https://t-s.today/PDF/04SATS226.pdf>

DOI: 10.15862/04SATS226 (<https://doi.org/10.15862/04SATS226>)

2.1.8. Проектирование и строительство дорог, метрополитенов, аэродромов, мостов и транспортных тоннелей (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Борисов, В. А. Метод обоснования комплектов дорожно-строительных машин и оборудования для выполнения дорожно-строительных работ / В. А. Борисов, Н. А. Ермошин // Транспортные сооружения. — 2026. — Т. 13. — № 2. — URL: <https://t-s.today/PDF/04SATS226.pdf>. DOI: 10.15862/04SATS226.

For citation:

Borisov V.A., Ermoshin N.A. The method of substantiation of sets of road construction machinery and equipment for road construction work. *Russian Journal of Transport Engineering*. 2026;13(2): 04SATS226. Available at: <https://t-s.today/PDF/04SATS226.pdf>. DOI: 10.15862/04SATS226. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 625.7/.8.05

Борисов Вячеслав Андреевич

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия
Аспирант

E-mail: vabor01@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8596-7020>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1095396

Ермошин Николай Алексеевич

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия
Высшая школа промышленно-гражданского и дорожного строительства

Профессор

Доктор военных наук, профессор

E-mail: ermonata@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0367-5375>

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=735873

Метод обоснования комплектов дорожно-строительных машин и оборудования для выполнения дорожно-строительных работ

Аннотация. В статье раскрываются основные теоретические положения метода обоснования комплектов дорожно-строительных машин и оборудования для выполнения дорожно-строительных работ (КДСМ) в условиях ограниченного финансирования и санкционных ограничений. Сущность предлагаемого метода заключается в выборе необходимого оборудования и машин для определения оптимального состава комплекта дорожно-строительных машин из множества допустимых вариантов для выполнения требуемых объемов дорожных работ установленной номенклатуры в заданное время по критерию минимума суммарных приведенных затрат на формирование комплекта (капитальные вложения) и его эксплуатацию (амортизационные выплаты, топливо, техническое обслуживание, ремонт) с учетом широкого спектра условий производства работ (климатические условия, гидрогеологические и др.) и импортозамещения техники. Математической основой метода являются алгоритмы блочного целочисленного линейного программирования. Основным содержанием метода является декомпозиция производственных процессов при строительстве автомобильных дорог (устройство земляного полотна, устройство щебеночного основания, устройство асфальтобетонного покрытия),

формирование массива дорожно-строительных машин и оборудования для выполнения поставленных задач, установление их функциональных технических и стоимостных характеристик, расчет состава комплекта дорожно-строительных машин. Метод обеспечивает возможность повышения экономической эффективности применения отечественной дорожно-строительной техники за счет оптимизации состава комплектов дорожно-строительных машин и оборудования, минимизации простоев техники, снижения перерасхода техники и адаптации комплектов дорожно-строительных машин к отечественному парку дорожно-строительных машин в условиях дефицита импортной техники.

Ключевые слова: комплекты дорожно-строительных машин; метод; линейное программирование; оптимизация; минимизация затрат; организационная структура; блочная модель

Введение

Развитие дорожно-строительной отрасли характеризуется возрастающей конкуренцией и необходимостью поиска решений, обеспечивающих снижение затрат на строительство за счет инновационных технологий и современной дорожно-строительной техники. Эффективность применения комплектов дорожно-строительных машин напрямую зависит от рациональности их состава, который определяет производственные возможности и качество выполняемых работ в условиях ограниченных финансовых ресурсов. Традиционные подходы к формированию комплектов дорожно-строительных машин, основанные на эмпирическом опыте и типовых решениях, не позволяют в полной мере оптимизировать состав КДСМ к специфическим условиям конкретного строительного объекта и ограничениям на финансирование работ. Задача обоснования состава КДСМ относится к категории задач многокритериальной оптимизации. Для ее решения требуется учет комплекса взаимосвязанных факторов. К ним относятся объемы выполняемых работ и сроки их реализации, производительность и надежность машин, стабильность и точность выполняемых машинами технологических операций, стоимость закупки (аренды) машин и затраты на их эксплуатацию. Пренебрежение этими факторами и их взаимным влиянием приводит либо к избыточности отдельных типов дорогостоящей техники, либо к недостаточному оснащению и, как следствие, низкой производительности комплекта в целом. Следствием формирования нерациональных КДСМ являются срывы графика производства работ, неустойки и штрафы за несвоевременный ввод объекта в эксплуатацию, экономические потери хозяйствующих субъектов и населения из-за отсутствия необходимых транспортных коммуникаций. В связи с этим, проблема разработки методического подхода к решению задачи формирования состава КДСМ достаточно актуальна.

Данная проблема рассматривалась в работах отечественных и зарубежных ученых. Классические подходы к структуризации производства изложены в исследованиях по теории организации, где значительное внимание уделяется принципам декомпозиции задач и целей [1–3]. В области применения оптимизационных методов к задачам проектирования комплектов можно выделить работы, посвященные исследованию организационных структур с использованием операционного анализа [4–6].

Особое внимание уделяется формированию парков машин, как задаче комбинаторной оптимизации. Отечественные ученые рассматривают методики расчета оптимального состава КДСМ на основе норм производительности и технологических карт, учитывая этапность работ (устройство земляного полотна, устройство щебеночного основания, устройство асфальтобетонного покрытия). Зарубежные исследования направлены на оптимизационной модели. В работе Shehaden A. и др. [4] рассматривается модель многокритериальной оптимизации парка экскаваторов и бульдозеров для дорожного строительства, в которую уже интегрированы факторы надежности и логистики. Эти подходы демонстрируют переход от эмпирических норм

к математическим моделям. Однако при этом игнорируются специфика российских условий (дорожно-климатические и грунтово-геологические условия, неопределенность условий финансирования, проблемы нормативно-технического регулирования дорожной деятельности и др.).

Специфика строительства автомобильных дорог требует высокой степени специализации разнородных технологических процессов и особых подходов к обоснованию состава КДСМ¹ [7; 8]. Технологические процессы при строительстве автомобильных дорог предусматривают выполнение последовательных этапов: подготовка местности, возведение земляного полотна, устройство оснований различного типа, укладка асфальтобетонного покрытия. Каждый из этапов предопределяет свой набор необходимой техники для производства работ.

Существует несколько различных методов формирования комплектов дорожно-строительных машин, и каждый из них характеризуется специфическим набором преимуществ и недостатков.

Эмпирический. Метод является самым распространенным на практике дорожно-строительных организаций. Он основывается на опыте специалистов, исторических данных и типовых решениях. Основными преимуществами эмпирического метода являются его оперативность, гибкость при учете меняющихся условий строительства конкретного объекта. Однако метод отличается высокой степенью субъективности: результаты существенно зависят от индивидуального опыта эксперта, что может привести к невозможности воспроизводимости результатов разными специалистами. Отсутствие формального критерия оптимальности не гарантирует минимизацию затрат на формирование и эксплуатацию комплекта. Практика показывает, что комплекты, сформированные данным методом, часто содержат либо избыточное количество техники, либо наоборот недостаточным для полного выполнения требуемых объемов работ, что приводит к срывам графиков и значительным потерям [9–11].

Аналитический. Данный метод предполагает расчет комплекта на основе стандартизированных норм производительности машин, предусмотренных в нормативных документах. Метод обеспечивает объективность источников данных. Расчеты относительно просты и могут быть выполнены без применения сложного математического аппарата. Вместе с тем, нормативные коэффициенты производительности, установленные в документах, часто не соответствуют реальным условиям работы конкретного объекта: местности, климатическим факторам, геологическим особенностям и др. Метод не предусматривает корректировку норм на основе специфических условий эксплуатации и часто приводит к не оптимальным комплектам. Кроме того, аналитический метод оптимизирует по единственному критерию (чаще всего продолжительность строительства), без учета других не менее важных параметров строительства [12; 13].

Существующие подходы к формированию комплектов строительной техники либо не учитывают полноту технологических требований дорожному строительству, либо требуют значительных вычислительных ресурсов без гарантии получения оптимального решения [14; 15].

Поэтому необходима разработка метода обоснования комплектов дорожно-строительных машин и оборудования для выполнения дорожно-строительных работ на основе моделирования задач блочного линейного программирования, позволяющего систематизировать процесс выбора машин и минимизировать затраты на их приобретение (аренду) и эксплуатацию. В отличие от традиционных методов формирования КДСМ, где оптимальность принятого решения зависит от субъективного опыта специалистов, блочное целочисленное линейное

¹ Болотникова О.В., Тарасов Д.В., Тарасов Р.В. Линейное программирование: транспортные и сетевые модели — Пенза: Изд-во ПГУ, 2018 — 156 с.

программирование обеспечивает нахождение оптимального решения из всех возможных комбинаций.

Достижение указанной цели требует решения ряда частных задач. В первую очередь необходимо провести декомпозицию процесса строительства автомобильной дороги на элементарные операции и выявить соответствующие им требования. Формирование этих требований позволяет решить следующую частную задачу — разработку классификации машин в соответствии с типами выполняемых операций и возможностями используемых машин (производительности), экономичности и надежности. Третья задача заключается в построении математической модели определения оптимального состава КДСМ с применением алгоритмов математического программирования.

Методы

Исследование базируется на системном подходе к проектированию состава комплекта и применению методов математического моделирования. Основная идея метода заключается в представлении процесса формирования состава КДСМ как оптимизационной задачи, в которой требуется выбрать наилучший состав машин из множества доступных альтернативных вариантов с учетом технологических и экономических ограничений.

Предлагаемый метод основан на трех ключевых принципах:

1. *Принцип декомпозиции* предусматривает разбиение глобальной цели (строительства автомобильной дороги) на связанные подцели и задачи (дорожные работы) (подготовка основания, возведение земляного полотна, устройство дорожной одежды и др.). Такое разбиение позволяет выделить элементарные дорожные работы, решение которых возможно с применением конкретных машин и оборудования.

2. *Принцип специализации* означает, что каждая машина предназначена для выполнения, определенного набора работ и характеризуется конкретными показателями производительности, надежности, стабильности, точности и экономичности. Этот принцип обеспечивает «назначение машин» на конкретные работы.

3. *Принцип оптимизации* обеспечивает выбор такого варианта состава КДСМ, который при выполнении всех требований обеспечит минимум суммарных затрат на создание и эксплуатацию комплектов машин. Данный принцип позволяет из множества допустимых решений выбрать наиболее экономичный вариант, что особенно важно при строгих ограничениях на финансирование строительства.

Процесс разработки метода включает последовательное выполнение ряда этапов, каждый из которых имеет определенное предназначение и методологическое содержание.

На **первом** этапе проводится декомпозиция целей строительства автомобильной дороги путем разбиения на задачи и работы в соответствии с технологической схемой выполнения работ. При этом учитываются нормы производительности, которые ограничивают число машин, способных выполнять работы.

Второй этап включает в себя анализ условий выполнения работ, включающий исследование характерных условий местности, климатических факторов, наличия/отсутствия ресурсов. На данном этапе определяются требуемые объемы работ, их номенклатура.

На **третьем** этапе из имеющейся техники создается множество возможных типов и марок машин для включения в состав КДСМ, способных выполнять дорожно-строительные работы.

Четвертый этап предусматривает расчет показателей эффективности. Для каждой единицы техники вычисляются нормативные и потенциальные возможности по выполнению работ, сроки, затраты, включающие капитальные вложения, амортизационные начисления, затраты на топливо, смазочные материалы и техническое обслуживание.

На **пятом** этапе устанавливаются общие требования к КДСМ в целом (объемы работы, сроки выполнения, требования к качеству и др.) и частные требования к отдельным машинам (специализация, производительность).

Шестой этап заключается в формировании математической модели (целевой функции, системы ограничений в виде уравнений и неравенств) на основе подготовленной информации. При этом коэффициенты целевой функции должны соответствовать затратам на машины, а искомые переменные обозначают количество машин каждого типа в составе КДСМ. Ограничения отражают требуемые объемы и номенклатуру работ, а коэффициенты ограничений функциональные характеристики машин, из которых создается КДСМ.

На **седьмом** этапе решается оптимизационная задача путем применения стандартных алгоритмов решения задач линейного программирования (симплекс-метод) для нахождения оптимального состава КДСМ. Алгоритм формирования комплекта дорожно-строительных машин представлен на рисунке 1.

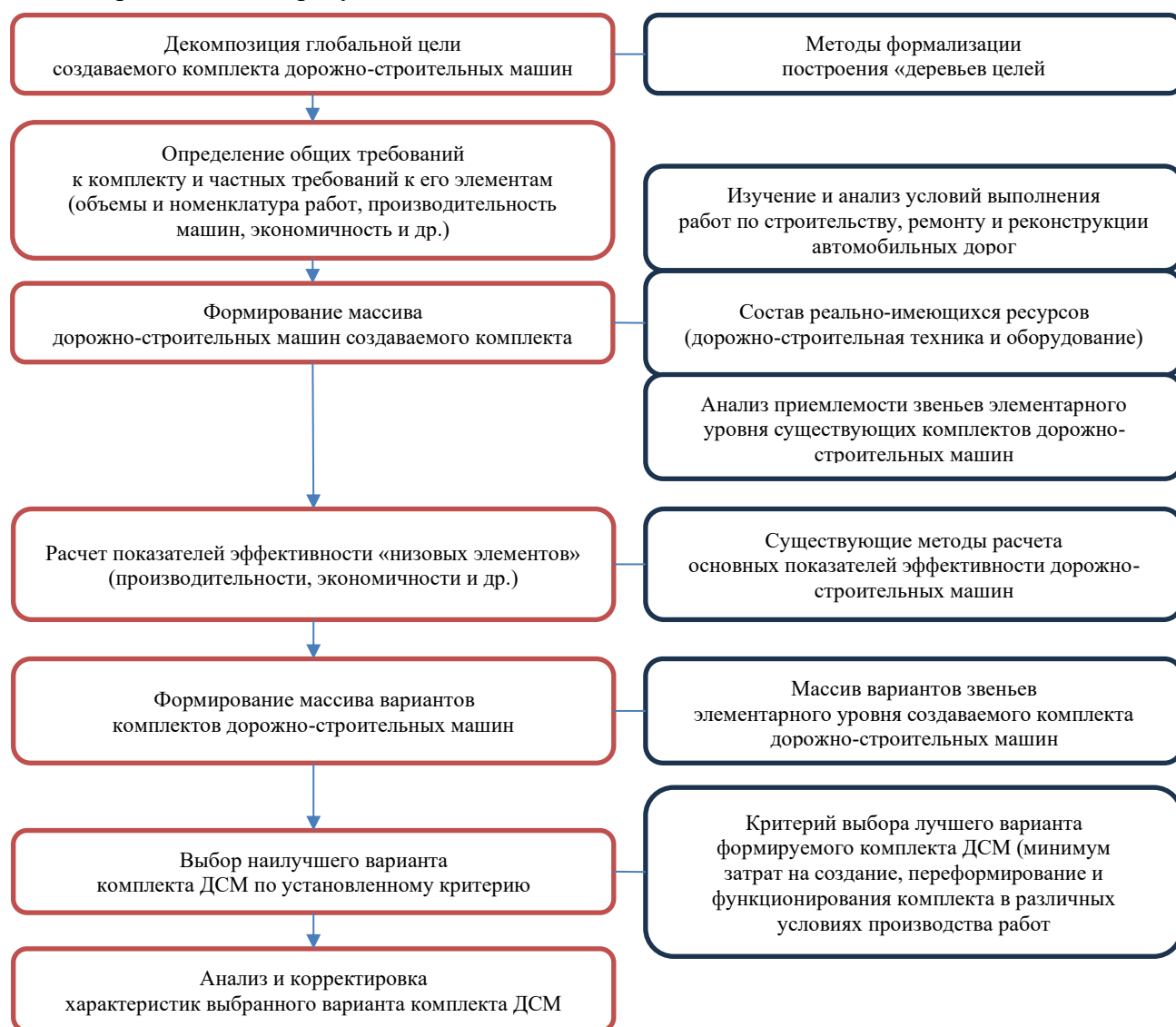


Рисунок 1. Алгоритм формирования КДСМ (разработано авторами)

Требуется определить состав КДСМ (количество, специализацию и тд.), при котором обеспечивается выполнение всех требований, предъявляемых к комплекту, с минимальными затратами.

Формальная постановка задачи представляется в следующем виде:

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (1)$$

где:

c_{ij} — суммарные приведенные затраты по i -му типу и j -му варианту используемой машины, руб.;

x_{ij} — количество машин i -го типа j -го варианта, шт.

При выполнении следующих ограничений:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{n_i} a_{kij} x_{ij} \geq b_k, \text{ для } k = 1, 2, \dots, m, \quad (2)$$

где:

a_{kij} — коэффициент характеризующий нормативные возможности машины по выполнению k -го требования;

b_k — численное значение k -го требования;

$$\sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \geq 1, \text{ для } i = 1, 2, \dots, m. \quad (3)$$

Данное условие гарантирует включение в состав комплекта не менее одной машины каждого типа.

$$x_{ij} \leq H_i \text{ для } i = 1, 2, \dots, m,$$

где:

H_i — норма управляемости, определяющая максимально количество машин каждого типа.

x_{ij} — целочисленные неотрицательны переменные.

Однако такое логико-математическое описание задачи в наибольшей степени подходит для формирования КДСМ, отличающихся незначительным разнообразием видов выполняемых работ. Как правило, это специализированный отряд. В то же время, когда количество видов работ и технологических процессов резко возрастает данная постановка задачи ввиду увеличения размерности факторного пространства, числа ограничений и переменных оказывается неприемлемой. В этом случае удобно представить формирование КДСМ в виде системы математических формул, соотношений и неравенств в векторной форме:

$$CX \rightarrow \min, \quad (4)$$

с учетом ограничений:
$$\begin{cases} AX = b \\ X \geq 0 \end{cases},$$

где:

$C = (c_1, \dots, c_n)$ — вектор приведенных затрат, на комплектование и применение структурных единиц (структурных подразделений КДСМ);

$X = (x_1, \dots, x_n)^T$ — вектор структурных единиц (комплекты машин, технические средств, оборудование);

$A = \|a_{ij}\|, (i=1, \dots, n), (j=1, \dots, m)$ — вектор показателей производительности, надежности, мобильности структурных единиц, являющиеся коэффициентами ограничений модели (4);

$(b_1, \dots, b_n)$ — вектор показателей требований (ограничений) к составу КДСМ по выполнению дорожно-строительных работ в установленные сроки.

В целях обоснования состава КДСМ множество его вариантов X следует разбить на S подмножеств. Для этого вектор X отображается как $X = (x^1, x^2, \dots, x^k, \dots, x^S)^T$.

При этом $x^k = (x_{1k}^k, \dots, x_{nk}^k)^T$ транспонируется.

По аналогии можно представить векторы b и C в виде:

,

где:

$$b^k = (b_{1k}^k, \dots, b_{mk}^k)^T, c^k = (c_{1k}^k, \dots, c_{nk}^k)^T, b^0 = (b_{1l}^0, \dots, b_{ll}^0)^T, k = 1, \dots, S.$$

Для строительства автомобильных дорог матрица ограничений представляется как совокупность специфических блоков A^k и D^k ($k = 1, \dots, S$) в виде (5):

$$A = \begin{vmatrix} A^1 & A^2 & \dots & A^k & \dots & A^S \\ D^1 & & & & & \\ & D^2 & & & & \\ & & \ddots & D^k & & \\ & & & & \ddots & D^S \end{vmatrix}, \quad (5)$$

где:

$$A^k = \|a_{ij}^k\|, (i=1, \dots, l), (j=1, \dots, m_k); D^k = \|d_{ij}^k\|, (i=1, \dots, n_k), (j=1, \dots, m_k).$$

При таком подходе задачу формирования КДСМ можно представить в виде модели математического программирования (4) и записать ее в следующем виде (6):

$$\text{минимизировать } Z = C^1 X^1 + C^2 X^2 + \dots + C^k X^k + C^S X^S;$$

при ограничениях:

$$A^1 X^1 + A^2 X^2 + \dots + A^k X^k + A^S X^S = b^0 D^1 X^1 = b^1 D^2 X^2 = b^2 \ddots D^k X^k = b^k \ddots D^S X^S = b^S, \quad (6)$$

$$X^k \geq I, X^k \leq V^k.$$

Значение искоемых переменных, ограничений и параметров этой задачи интерпретируются следующим образом:

X^k — вектор возможных вариантов состава КДСМ, которые могут подлежать сравнительному анализу в целях выбора лучшего из них по критерию затрат для выполнения k -го комплекса дорожно-строительных работ;

C^k — вектор приведенных затрат, необходимых для формирования и эксплуатации вариантов КДСМ в целях выполнения k -го комплекса работ;

D^k — вектор показателей производственных возможностей и эксплуатационных свойств, характеризующих «вклад» каждой структурной единицы КДСМ в выполнение k -го комплекса работ;

b^k — вектор объемов ограничений, накладываемых на структурную единицу (машину, технологическое оборудование), включаемую в состав КДСМ для реализации k -го комплекса работ;

A^k — матрица показателей производственных возможностей, которые являются "вкладом" структурной единицы в выполнение k -го комплекса работ и достижение общих требований к комплексу в целом;

b^0 — вектор показателей, характеризующих выполнение требований своевременности производства всех видов работ составом КДСМ в целом;

V^k — вектор показателей, характеризующих допустимое число структурных единиц в составе КДСМ для выполнения k -го комплекса работ;

S — количество видов работ по строительству участка автомобильной дороги, требующих создания КДСМ.

Результаты

После приведенных объяснений предлагается следующая форма записи задачи формирования составов КДСМ для строительства автомобильных дорог (7):

$$\left. \begin{array}{l} \sum_{k=1}^S C^k X^k \xrightarrow{x} \min \\ \text{при условиях} \\ \sum_{k=1}^S A^k X^k = b^0, D^k X^k = b^k \\ X^k \geq 1, \quad X^k \leq V^k \end{array} \right\} \quad (7)$$

Учитывая блочную структуру задачи (6), процесс формирования КДСМ может быть декомпозирован по основным технологическим этапам строительства. Для каждого этапа (блока) формируется локальная оптимизационная модель, направленная на минимизацию затрат в рамках конкретного комплекса работ (рисунок 2).

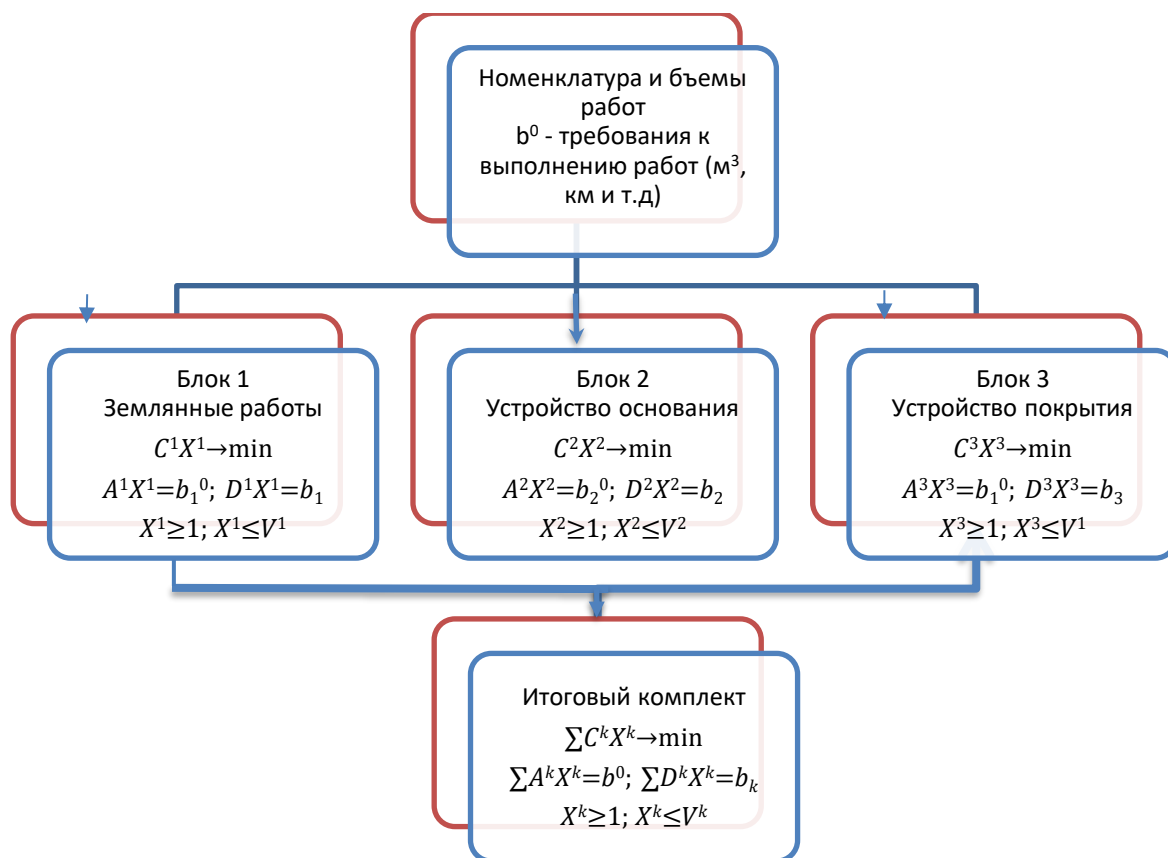


Рис. 2. Блочное представление модели (разработано авторами)

Fig. 2. Block Representation of the Model (prepared by the authors)

Для каждого блока:

$$\begin{aligned}
 &C^k X^k \rightarrow \min \\
 &A^k X^k = b^{0k}; D^k X^k = b^k \\
 &X^k \geq 1; X^k \leq V^k
 \end{aligned}$$

0

где:

$X^k = X^{k1}, X^{k2}, \dots, X^{kn}$ — количество машин j -го типа на k -ом этапе, шт.

$C^k = C^{k1}, C^{k2}, \dots, C^{kn}$ — удельные затраты на эксплуатацию машин j -го типа на k -ом этапе, руб.

A^k — матрица, элементами которой, a_{ij}^k являются показатели производительности i -ой машины j -го типа на k -ом этапе, м³/смену

b_k^0 — требуемые объемы по каждой операции на k -ом этапе, м³

D^k и b^k — дополнительные технологические ограничения

V^k — максимально количество машин каждого типа на k -ом этапе, шт.

При расчетах должны быть рассмотрены все основные этапы строительства автомобильной дороги:

1. Устройство земляного полотна, предусматривает работы по выравниванию поверхности и уплотнению грунта. Данные работы производятся экскаватором, бульдозером и виброкатком.
2. Устройство щебеночного основания, что включает в себя доставку, распределение и уплотнение щебеночного основания. Работы выполняются самосвалом, автогрейдером и виброкатком.
3. Укладка асфальтобетонного покрытия. Данный этап состоит из приготовления, транспортировки, укладки и уплотнения асфальтобетонной смеси. Этот комплекс работ выполняется АБЗ, самосвалами, асфальтоукладчиками и катками.

Заключение

Проведенное исследование подтвердило гипотезу о возможности применения методов линейного программирования для научного обоснования состава КДСМ. Предложенный метод позволяет систематизировать процесс выбора машин и обеспечивает объективный критерий оптимальности в виде минимизации суммарных затрат на создание и функционирование парка машин.

Полученные оптимальные варианты составов КДСМ предполагают отказ от избыточного комплектования парка, что особенно актуально для предприятий малого и среднего бизнеса, в связи с ограниченными финансовыми ресурсами. Разработанный метод одновременно обеспечивает достаточную мобильность КДСМ и производительность для соблюдения графиков производства работ.

При разработке метода ряд факторов был не учтен, что определяет границы его применимости. Модель не учитывает фактор неопределенности, включая случайные факторы, влияющие на производительность, такие как погодные условия. Модель предполагает статичность параметров на протяжении всего периода эксплуатации КДСМ, что не позволяет учитывать динамическую переоптимизацию при изменении внешних факторов.

Описанный метод может быть применим не только к дорожным работам, но также и к другим типам строительства, для которых характерно выполнение последовательных технологических операций (земляные работы, лесозаготовка, горные работы и др.).

Практическое применение метода целесообразно осуществлять в нескольких направлениях. При планировании инвестиций, он позволит обосновать необходимый состав техники и объемы финансирования на закупку машин. При оптимизации существующих КДСМ с помощью него возможен анализ целесообразности переоснащения парка путем замены или дополнения техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кустарев Г.В. Высокоэффективные комплексы для скоростного строительства асфальтобетонных покрытий / Г.В. Кустарев, А.В. Ушков, С.А. Павлов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). — 2019. — № 3. — С. 27–31. — EDN: [TNDVWF](https://t-s.today). (дата обращения: 03.07.2026).

2. Ермошин Н.А. Моделирование условий работы дорожно-строительных машин и технологического оборудования / Н.А. Ермошин, В.А. Борисов // Известия КГАСУ. — 2024. — № 2(68). — С. 147–158. — DOI: [10.48612/NewsKSUAE/68.13](https://doi.org/10.48612/NewsKSUAE/68.13). — EDN: [NDANNY](https://www.edn.net/NDANNY). (дата обращения: 03.07.2026).
3. Пермяков В.Б. Методология оптимизации комплектов машин для строительства элементов автомобильной дороги / В.Б. Пермяков // Автомобильные дороги. — 2010. — № 8. — С. 88–90. — EDN: [PBLZED](https://www.edn.net/PBLZED). (дата обращения: 03.07.2026).
4. Shehadeh A. Selection of heavy machinery for earthwork activities: A multi-objective optimization approach using a genetic algorithm / A. Shehadeh, O. Alshboul, O. Tatari [et al.] // Alexandria Engineering Journal. — 2022. — Т. 61, № 10. — С. 7903–7918. — DOI: [10.1016/j.aej.2022.01.010](https://doi.org/10.1016/j.aej.2022.01.010). — EDN: [VFOBMI](https://www.edn.net/VFOBMI). (дата обращения: 03.07.2026).
5. Тюрин Я.И. Подходы к осуществлению математического моделирования многокомпонентных механических систем (на примере фронтального погрузчика с телескопическим рабочим оборудованием) / Я.И. Тюрин, К.П. Мандровский // Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: сборник материалов II Национальной научно-практической конференции, Омск, 18–19 апреля 2019 года. — Омск: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2019. — С. 59–62. — EDN: [CXZGKE](https://www.edn.net/CXZGKE). (дата обращения: 03.07.2026).
6. Маркарян Т.А. Комплексная механизация строительства оснований дорог / Т.А. Маркарян // Вестник строительной науки. — 2017. — № 3. — С. 22–28. — EDN: [ZBMSRB](https://www.edn.net/ZBMSRB). (дата обращения: 03.07.2026).
7. Абд А.М. Prediction and Estimation of Highway Construction Cost using Machine Learning / А.М. Абд, Я.А. Карим, Р.Н. Зехави // Engineering, Technology & Applied Science Research. — 2024. — Т. 14, № 5. — С. 17222–17231. — DOI: [10.48084/etasr.8285](https://doi.org/10.48084/etasr.8285). — EDN: [LQVRGU](https://www.edn.net/LQVRGU). (дата обращения: 03.07.2026).
8. Баловнев В.И. Подметально-уборочные машины / В.И. Баловнев, Р.Г. Данилов // Строительные и дорожные машины. — 2019. — № 9. — С. 13–23. — EDN: [SWAMLW](https://www.edn.net/SWAMLW). (дата обращения: 03.07.2026).
9. Головин С.Ф. Модель изменения ресурса функциональной системы машины для оптимизации периодичности замены вспомогательной системы / С.Ф. Головин // Вестник московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). — 2019. — № 2. — С. 75–82. — EDN: [YYFVBU](https://www.edn.net/YYFVBU). (дата обращения: 03.07.2026).
10. Даугелло В.А. Информационные технологии контроля работоспособности дорожно-строительных машин / В.А. Даугелло, Е.А. Филоненко, В.И. Хохлов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. — 2019. — № 7. — С. 21–23. — DOI: [10.31044/1684-2561-2019-0-7-21-23](https://doi.org/10.31044/1684-2561-2019-0-7-21-23). — EDN: [WGBBJS](https://www.edn.net/WGBBJS). (дата обращения: 03.07.2026).
11. Селиверстов Н.Д. Регрессионно-корреляционный анализ рабочей скорости дорожных фрез при вариации параметров и режимов работы / Н.Д. Селиверстов, Д.А. Макарова // Строительные и дорожные машины. — 2019. — № 4. — С. 18–23. — EDN: [MUXKKU](https://www.edn.net/MUXKKU). (дата обращения: 03.07.2026).
12. Селиверстов Н.Д. Определение работы фрезерно-смесительных агрегатов дорожных фрез и гибридных машин в заданных условиях эксплуатации / Н.Д. Селиверстов, Д.А. Макарова // Транспортное, горное и строительное машиностроение: наука и производство: материалы I международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 02 ноября 2018 года. — Санкт-Петербург: СПбФ НИЦ МС, 2018. — С. 33–37. — EDN: [VPBITS](https://www.edn.net/VPBITS). (дата обращения: 03.07.2026).

13. Zanina A. Optimization model for determination of the structure for the road construction machinery fleet / A. Zanina // Procedia Computer Science. — 2022. — Т. 200. — С. 1450–1457. — DOI: [10.1016/j.trpro.2022.05.004](https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.05.004). — EDN: [OBYYGG](https://edn.sciencedirect.com/EDN/OBYYGG). (дата обращения: 03.07.2026).
14. Clautiaux F. Last fifty years of integer linear programming: A focus on recent practical advances / F. Clautiaux, I. Ljubić // European Journal of Operational Research. — 2024. — DOI: [10.1016/j.ejor.2024.11.018](https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.11.018). — EDN: [LGYBPB](https://edn.sciencedirect.com/EDN/LGYBPB). (дата обращения: 03.07.2026).
15. Ngov K. Fleet management for earthmoving operation in the phase of detail estimation using mixed integer nonlinear programming / K. Ngov, Y. Ko, J. Noh [et al.] // Journal of Asian Architecture and Building Engineering. — 2025. — Т. 24, № 2. — С. 800–815. — URL: <https://doi.org/10.1080/13467581.2024.2320321>. — DOI: [10.1080/13467581.2024.2320321](https://doi.org/10.1080/13467581.2024.2320321). (дата обращения: 03.07.2026).

Borisov Viacheslav Andreevich

Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

E-mail: vabor01@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8596-7020>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=1095396

Ermoshin Nikolay Alekseevich

Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

Higher School of Industrial, Civil and Road Construction

E-mail: ermonata@mail.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0367-5375>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=735873

The method of substantiation of sets of road construction machinery and equipment for road construction work

Abstract. The article reveals the main theoretical provisions of the method of substantiating sets of road construction machinery and equipment for performing road construction work (KDSM) in conditions of limited financing and sanctions restrictions. The essence of the proposed method is to select the necessary equipment and machinery to determine the optimal composition of a set of road construction machinery from a variety of acceptable options for performing the required amounts of road work of the specified range at a given time according to the criterion of the minimum total cost of the kit (capital investment) and its operation (depreciation payments, fuel, maintenance, repair) taking into account a wide range of work conditions (climatic conditions, hydrogeological, etc.) and import substitution of machinery. The mathematical basis of the method is algorithms of block integer linear programming. The main content of the method is the decomposition of production processes in the construction of highways (paving, paving, asphalt pavement), the formation of an array of road construction machinery and equipment to perform tasks, the establishment of their functional technical and cost characteristics, the calculation of the composition of a set of road construction machinery. The method provides an opportunity to increase the economic efficiency of using domestic road construction machinery by optimizing the composition of sets of road construction machinery and equipment, minimizing downtime, reducing equipment overruns and adapting sets of road construction machinery to the domestic fleet of road construction machinery in the face of a shortage of imported machinery.

Keywords: sets of road construction machines; method; linear programming; optimization; cost minimization; organizational structure; block model