

33. Kolmogorov G.L., Kychkin V.I., Esipenko I.A. Metod konechnyh raznostej v issledovanii dorozhnyh odezhd pri vozdejstvii real'noj transportnoj nagruzki [Method of finite differences in the study of pavements under the actual traffic load]. *Stroitel'naja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij*, 2014, no 1. pp. 69-77.

34. Andreeva E.V., Smirnov A.V. *Sovremennye metody proektirovanija dorozhnyh konstrukcij avtomagistralej na vozdejstvie transportnyh potokov* [Modern methods for designing highway structures under the impact of traffic flows]. Omsk, SibADI, 2014. 135 p.

Баженова Алена Юрьевна (Россия, г. Омск) – инженер кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» ФГБОУ ВО СиБАДИ (644080, г. Омск, ул. Мира, 5, e-mail: kaf_sed@sibadi.org).

Смирнов Александр Владимирович (Россия, г. Омск) – Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор кафедры «Строительство и эксплуатация дорог» ФГБОУ ВО СиБАДИ (644080, г. Омск, ул. Мира, 5, e-mail: smirnov_av@sibadi.org).

Bazhenova Alyona Yurjevna (Russian Federation, Omsk) – Engineer of the Road Building and Maintenance Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education The Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, pr. Mira 5, e-mail: kaf_sed@sibadi.org).

Smirnov Aleksandr Vladimirovich (Russian Federation, Omsk) – Honored Scientist of the Russian Federation, doctor of technical science, Professor of the Road Building and Maintenance Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education The Siberian State Automobile and Highway Academy (644080, Omsk, pr. Mira 5, e-mail: smirnov_av@sibadi.org).

УДК. 625.7/8

УПРАВЛЕНИЕ СТРУКТУРОЙ КОМПЛЕКТОВ МАШИН ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА ПЕРЕХОДЯЩИХ ОБЪЕКТАХ

Т.В. Боброва¹, Р.Ф. Салихов¹, М.Г. Груснев²

¹ФГБОУ ВО «СиБАДИ», Россия, г. Омск.

²«ОМО им. П.И. Баранова» АО «НПЦ газотурбостроения «САЛЮТ», Россия, г. Омск.

Аннотация. В статье рассмотрена методика управления составом специализированных комплектов дорожных машин (СДКМ) для производства земляных работ при строительстве дорог значительной протяженности (50 и более км) в сложных природных условиях в течение ряда лет. Распределение объемов работ на переходящем объекте в соответствии с календарным графиком в проекте организации строительства предусматривает прогнозирование наработки задействованных машин, их технико-экономических показателей в каждый год строительства. Предложенные модели обеспечивают рациональную корректировку составов СДКМ и позволяют в соответствии с прогнозируемыми показателями вносить изменения в структуру парка машин в проектах производства работ.

Ключевые слова: комплекты машин, схема управления структурой парка, математическая модель, эксплуатация машин, технико-экономические показатели использования машин.

Введение

Строительство автомобильных дорог в условиях Сибирского региона характеризуется сложными природно-климатическими условиями, неравномерным распределением объемов и видов земляных работ по длине дороги, значительной продолжительностью строительства (в течение нескольких лет при строительстве крупных магистралей), применением типовых и уникальных технологий.

Выполнение дорожно-строительных работ, как правило, начинается силами подрядных организаций с уже сформированными парками техники. Учитывая особенности объектов, машинные парк приспособливают к меняющимся условиям строительства. Изменение структуры парка часто обусловлено разновозрастным и нерегулярно обновляемым составом парка средств механизации, эксплуатацией машин с превышенным сроком службы,

необходимостью приобретения новой и высокопроизводительной техники за счет разных источников финансирования [1, 2, 3].

Земляное полотно является элементом дорожной конструкции, в значительной степени определяющим эксплуатационное качество всей автомобильной дороги. При всей неоднородности земляных работ на переходящих объектах строительства в сложных природных условиях, в том числе в условиях криолитозоны, можно выделить участки с относительно однородными условиями природной среды, на которых применяют однотипные групповые решения конструкций земляного полотна. Эта особенность позволяет формировать специализированные дорожные комплекты машин (СДКМ), наиболее соответствующие технологическим и грунтовым условиям линейных участков [4, 5].

Скорость и качество возведения земляного полотна в значительной мере зависит от правильно подобранных СДКМ. При формировании СДКМ необходимо учитывать:

- наличие, количество, характеристики участков с относительно однородными природными условиями и конструктивными решениями земляного полотна;
- выбираемую форму эксплуатации техники и ее сервисное обслуживание в труднодоступных районах;
- инновационные технические и технологические решения, принимаемые по согласованию с проектной организацией в ходе производства работ;
- изменение темпов работ из-за непредвиденных обстоятельств природного и технического характера.

Для дорожных объектов, продолжительность строительства которых составляет несколько лет, в проектах организации строительства закладывают усредненные технико-экономические показатели (ТЭП) комплектов машин и средств механизации, такие как: эксплуатационная производительность, годовой фонд времени, стоимость машино-

часа, количество проводимых технических обслуживаний и ремонтов (ТО и Р) и другие. При этом не учитываются вероятностные параметры производства и реальные характеристики машин подрядных организаций.

Такой подход снижает точность расчетов составов СДКМ на перспективный срок.

Проведенный анализ научных работ, посвященных проблеме формирования СДКМ, развитию и модернизации парков машин в меняющихся условиях строительства переходящих объектов, также позволяет говорить об актуальности исследования [1, 2, 6, 7, 8, 9].

Имитационное моделирование составов СДКМ при проектировании производства работ на переходящих объектах.

Процесс формирования комплектов машин на перспективный срок должен обеспечивать взаимосвязь между несколькими составляющими:

- 1) согласованность технического проекта организации строительства с ежегодными проектами производства работ;
- 2) оптимальное сочетание затрат на эксплуатацию комплектов машин с их максимальной возможной производительностью;
- 3) ежегодный мониторинг изменения ТЭП техники, продолжительности и стоимости проведения ТО и Р, внесение корректировок в расчеты по определению темпов строительства;
- 4) технико-экономическое обоснование эксплуатации каждой единицы техники в соответствии с ее загруженностью на протяжении всего периода строительства;
- 5) эффективное управление возрастной структурой парка техники.

На рисунке 1 представлена принципиальная схема управления структурой парка машин, позволяющая связать все эти составляющие в единый процесс для повышения эффективности использования техники и выполнения работ в установленные сроки.

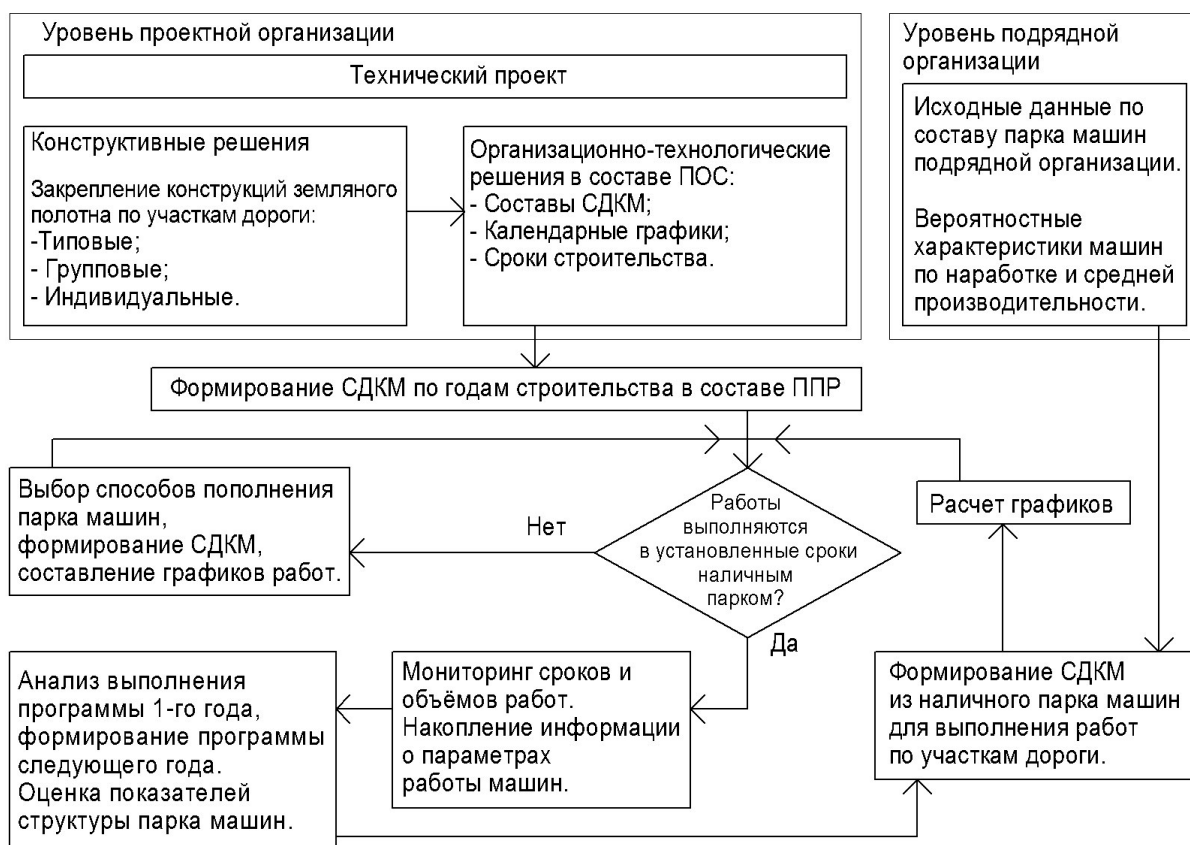


Рис. 1. Принципиальная схема управления структурой парка машин при строительстве земляного полотна на переходящих объектах

Выделение однородных по условиям производства земляных работ участков на всем протяжении дороги позволяет заранее определить требуемые комплекты машин, их количество и характеристики, технические параметры каждого СДКМ. Прогнозирование изменений ТЭП техники по каждому году дает возможность предупредить снижение темпов строительства, путем своевременной корректировки составов отрядов с заменой устаревшей техники новой более эффективной [2, 7].

Для сравнения уровня затрат между различными по составу СДКМ при выполнении заданного объема работ в требуемые сроки использован критерий: суммарные дисконтированные затраты. Данный критерий позволяет учесть ТЭП эксплуатируемой техники и различные варианты технологических и организационных решений, которые могут меняться в разные периоды строительства и по сезонам года. [10].

Целевая функция представляет собой сумму дисконтированных затрат на

эксплуатацию комплектов машин в рассчитываемом периоде:

$$\sum_{r=1}^R z^r \rightarrow \min, \quad (1)$$

где r – порядковый номер года строительства объекта; R – горизонт расчета.

Сформированные комплекты машин в рамках проекта производства работ (т.е. по годам строительства) должны удовлетворять следующим условиям:

1) выполнение установленного объема p -го вида технологической операции на каждом участке строительства с учетом годовой производительности звеньев однотипных машин в составе СДКМ;

2) выполнение годового объема всех видов работ на каждом из участков строительства с минимальными затратами на эксплуатацию техники.

Годовой объем работ для каждого комплекта машин складывается из суммы ежемесячных объемов на участках однотипного конструктивного решения:

$$V_p^r = \sum_{k=1}^K \sum_{g=1}^G (V_{p1g1}^k + V_{p1g2}^k + \dots + V_{p1gj}^k), \quad (2)$$

где V_{pg}^k – объем p -го вида операции в k -й месяц на g -м участке, ед. изм.; g – порядковый номер участка строительства; k – порядковый месяц в период строительства в r -м расчетном году.

Ограничением при решении задачи является выполнение годового объема p -го вида операции сформированными СДКМ на каждом из участков:

$$V_p^r \leq \sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^J \left(\Pi_{pj}^k \cdot T_{pj}^k \cdot n_{pj}^k + \Pi_{pj}^{npk} \cdot T_{pj}^{npk} \cdot n_{pj}^{npk} + \Pi_{pj}^{лизk} \cdot T_{pj}^{лизk} \cdot n_{pj}^{лизk} + \Pi_{pj}^{арk} \cdot T_{pj}^{арk} \cdot n_{pj}^{арk} \right), \quad (3)$$

где $\Pi_{pj}^k = \Pi_{pj}^k(t)$; $\Pi_{pj}^{npk} = \Pi_{pj}^{npk}(t)$; $\Pi_{pj}^{лизk} = \Pi_{pj}^{лизk}(t)$; $\Pi_{pj}^{арk} = \Pi_{pj}^{арk}(t)$ – функция часовой эксплуатационной производительности в зависимости от наработки t , соответственно имеющейся в подрядной организации, приобретенной за полную стоимость, в финансовый лизинг и арендованной машины j -го номера при выполнении p -го вида операции в k -й месяц,

ед.прод./ маш.-ч; $T_{pj}^k, T_{pj}^{npk}, T_{pj}^{лизk}, T_{pj}^{арk}$ – продолжительность работы в год соответственно имеющейся, приобретенной за полную стоимость, в финансовый лизинг и арендованной при выполнении p -го вида операции в k -й месяц, маш.-ч;

$n_{pj}^k, n_{pj}^{npk}, n_{pj}^{лизk}, n_{pj}^{арk}$ – количество соответственно имеющихся, приобретенных за полную стоимость единиц техники эксплуатируемых по договорам финансового лизинга и арендованных машин j -го номера, для выполнения p -го вида операции в k -й месяц, ед. техн.

Оценка затрат на эксплуатацию техники в g -м году определяется с месячным шагом расчета:

$$Z^r = \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P (Z_{np}^k + Z_{\text{э}}^k + Z_{\text{лиз}}^k + Z_{\text{ал}}^k) \frac{1}{(1 + E_{\text{мес}})^k}, \quad (4)$$

где p – вид технологической операции; Z_{np}^k – затраты на приобретение техники в k -м месяце, руб.; $Z_{\text{э}}^k$ – затраты на эксплуатацию техники из наличного парка машин в k -м месяце, руб.; $Z_{\text{лиз}}^k$ – затраты на эксплуатацию

техники приобретенной в k -м месяце, руб.; $Z_{\text{ал}}^k$ – затраты на эксплуатацию техники по договору аренды или лизинга в k -м месяце, руб.; $E_{\text{мес}}$ – месячная норма дисконта; k – месячный интервал планирования (шаг расчетного периода).

$$Z_{np}^k = \sum_{p=1}^P \left(\sum_{j=1}^J \frac{C_{pj}^{npk}}{P_j} \cdot n_{pj}^{npk} \right), \quad (5)$$

$$Z_{\text{э}}^k = \sum_{p=1}^P \left(\sum_{j=1}^J \frac{C_{\text{э}pj}^k}{P_j} \cdot T_{pj}^k \cdot n_{pj}^k \right), \quad (6)$$

$$Z_{\text{э}np}^k = \sum_{p=1}^P \left(\sum_{j=1}^{J_1} \frac{C_{\text{э}pj}^{npk}}{P_j} \cdot T_{pj}^{npk} \cdot n_{pj}^{npk} \right), \quad (7)$$

$$Z_{\text{ар}}^k = \sum_{p=1}^P \left(\sum_{j=1}^{J_2} \frac{C_{\text{э}pj}^{лизk}}{P_j} \cdot T_{pj}^{лизk} \cdot n_{pj}^{лизk} + \sum_{j=1}^{J_3} \frac{C_{\text{э}pj}^{арk}}{P_j} \cdot T_{pj}^{арk} \cdot n_{pj}^{арk} \right), \quad (8)$$

где j – порядковый номер машины; C_{pj}^{npk} – стоимость приобретаемой машины j -го номера, выполняющей различные виды операций в k -м месяце, руб.; P_j – количество одновременно выполняемых операций машиной j -го номера; $J, J_1 = J_{\text{пр}}, J_2 = J_{\text{лиз}}, J_3 = J_{\text{ар}}$ – принадлежность машины соответственно к группе наличного парка техники, приобретенных за полную стоимость, в финансовый лизинг, в аренду; $C_{\text{э}pj}^k = C_{\text{э}pj}^k(t)$, $C_{\text{э}pj}^{npk} = C_{\text{э}pj}^{npk}(t)$, $C_{\text{э}pj}^{лизk} = C_{\text{э}pj}^{лизk}(t)$, $C_{\text{э}pj}^{арk} = C_{\text{э}pj}^{арk}(t)$ – затраты на эксплуатацию соответственно имеющейся машины в парке техники, приобретенной за полную стоимость, в финансовый лизинг, в аренду в зависимости от t , при выполнении различных операций в k -й месяц, руб./маш.-ч.

Введенная переменная P_j позволяет избежать повторного учета затрат на эксплуатацию техники которая может выполнять несколько различных технологических операций. Например, колесный экскаватор может и разрабатывать грунт и засыпать траншею установленным отвалом, соответственно в расчетах будет учитываться одна единица техники, но с разной стоимостью машино-часа в зависимости от выполняемой технологической операции.

Целесообразность выбора формы эксплуатации каждой единицы техники (приобретение, лизинг или аренда) входящей

в состав СДКМ будет определяться соотношением между суммарными затратами на ее эксплуатацию при строительстве земляного полотна и суммой ежегодных объемов работ по определенному виду технологической операции на участках строительства земляного полотна.

Затраты на эксплуатацию техник, состоящей на балансе подрядной организации, рассчитываются для каждого месяца с учетом влияния наработки:

$$C_{\substack{3 \\ \text{pj}}}^k(t) = A_j^k + P_{\text{ем}}^k(t) + B_j^k + 3_j^k + \text{Эн}_j^k(t) + C_{\text{см}}^k + \Gamma_j^k + C_j^{\text{пб}^k}, \quad (9)$$

где $A_j^k, P_{\text{ем}}^k(t), B_j^k, 3_j^k, \text{Эн}_j^k(t), C_{\text{см}}^k, \Gamma_j^k, C_j^{\text{пб}^k}$ – принятые для каждой машины ежегодно устанавливаемые значения отчислений на амортизацию; затраты на ремонт, ТО и диагностику в зависимости от наработки машины; затраты на замену быстроизнашивающихся деталей; затраты на оплату труда операторов-машинистов; затраты на энергоносители в зависимости от t ; затраты на смазочные материалы; затраты на гидравлическую жидкость; затраты на перебазировку машины (руб./маш.-ч.).

При расчете стоимости машино-часа корректируются затраты на проведение ТО и Р. Изменение этих затрат связано с увеличением суммарной наработки техники, ростом количества и периодичности их проведения. Месячный шаг расчета формулы (1.9) позволяет более корректно учитывать влияние климатических и грунтовых условий объектов строительства на стоимость машино-часа техники.

Расчет затрат на проведение профилактических мероприятий по ТО и Р производится по следующей формуле:

$$P_{\text{ем}}^k(t) = K_{\text{рб}^k_j}(t) \cdot f_j^{\text{рем}^k}(t) \cdot C_{\text{нч}}^{\text{рб}} + K_{\text{со}^k_j}(t) \cdot f_j^{\text{рем}^k}(t) \cdot C_{\text{нч}}^{\text{со}}, \quad (10)$$

где $K_{\text{рб}^k_j}(t)$ – коэффициент, учитывающий объем профилактических мероприятий, выполняемых на собственной ремонтной базе с учетом наработки t ; $f_j^{\text{рем}^k}(t)$ – продолжительность проведения профилактических мероприятий для машины j -го номера в k -й месяц с учетом наработки t , маш.-ч; $C_{\text{нч}}^{\text{рб}}$ – стоимость нормо-часа на собственной ремонтной базе, руб./ч; $K_{\text{со}^k_j}(t)$ – коэффициент, учитывающий объем профилактических мероприятий, выполняемых в сервисных организациях, с

учетом наработки t ; $C_{\text{нч}}^{\text{со}}$ – стоимость нормо-часа в сервисной организации, руб./ч.

Корректирующие коэффициенты призваны учесть обязательное обслуживание в фирменных технических центрах, что связано и с условиями в договорах при продаже техники, и с установкой различных комплектующих импортного производства на технику российских заводов-изготовителей требующих сервисного обслуживания.

Целесообразность эксплуатации каждой единицы техники рассчитывают ежемесячно в течение всего периода строительства объекта:

$$n_{\text{pj}}^k = \begin{cases} 0, & \text{если } 3_j^k > [3_{\text{д}j}] \text{ и } 3_j^k > 3_j^{\text{ап}^k}; \\ 0, & \text{если } 3_j^{\text{кр}} \geq [P_{\text{д}j}]; \\ 1, & \text{если } 3_j^k < [3_{\text{д}j}] \text{ и } 3_j^k < 3_j^{\text{ап}^k}; \end{cases} \quad (11)$$

где $3_j^{\text{ап}^k}$ – затраты на аренду машины выполняющую аналогичную технологическую операцию в k -й месяц, руб.; $3_j^{\text{кр}^r}$ – затраты на проведение КР машины в r -й год, руб.; $[3_{\text{д}j}]$ – допустимый предел затрат на эксплуатацию машины j -го номера в r -й год, руб.; $[P_{\text{д}j}]$ – допустимый предел затрат на проведение КР для машины j -го номера, руб. [11].

Данное условие уже на этапе формирования парка машин под заданные объемы строительства позволяет спрогнозировать, в какой месяц машина j -го номера может быть не задействована или подлежит списанию, и какие машины потребуется приобрести или взять в аренду для поддержания заданного темпа строительства.

Возможность своевременного приобретения, лизинга и аренды недостающей техники требует от подрядной организации формирования фонда средств направленного на эти цели:

$$[\Phi]^r = \Phi_{\text{ост}}^r + \mathcal{E}^{r-1} \cdot D^r + \sum_{j=1}^J A_j^{r-1} - \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P \left(\sum_{j=1}^J \frac{C_{\text{pj}}^{\text{ап}^k-1}}{P_j} \cdot n_{\text{pj}}^{\text{ап}^k-1} + \sum_{j=1}^J \frac{C_{\text{pj}}^{\text{лнз}^k-1}}{P_j} \cdot n_{\text{pj}}^{\text{лнз}^k-1} + \sum_{j=1}^J \frac{C_{\text{pj}}^{\text{ар}^k-1}}{P_j} \cdot T_{\text{pj}}^{\text{ар}^k-1} \cdot n_{\text{pj}}^{\text{ар}^k-1} \right), \quad (12)$$

где $[\Phi]^r$ – фонд средств направленный на приобретение за полную стоимость, в финансовый лизинг и аренду машин в r -й год, руб.; $\Phi_{\text{ост}}^r$ – остаточный резерв из фонда

средств направленный на приобретение, лизинг, аренду машин в предыдущем году, руб.; D^r – доля средств из дохода, получаемого при выполнении разных видов строительных работ r -м году; A_j^{r-1} – фонд амортизационных отчислений прошлого года, руб.; $C_{pj}^{пр\ k-1}$, $C_{pj}^{лиз\ k-1}$ – соответственно стоимость приобретенной машины j -го номера и величина лизингового платежа за машину j -го номера в предыдущем расчетном периоде; $C_{pj}^{ар\ k-1}$ – величина платежа за аренду машины j -го номера в предыдущем расчетном периоде, руб./маш.-ч.

При расчете годового фонда времени техники, помимо регламентированных организационных и технологических простоев учитываются скорректированные затраты времени на проведение профилактических мероприятий для обслуживания техники:

$$F_j^r(t) = \sum_{k=1}^K \sum_{p=1}^P T_{pj}^k - (f_j^{рем\ k}(t) + f_j^{проч\ k} + f_j^{нб\ k}), \quad (13)$$

где $f_j^{проч\ k}$ – продолжительность простоев, связанных с метеорологическими, технологическими, организационными и т.п. причинами в k -й месяц, маш.-ч; $f_j^{нб\ k}$ – продолжительность перебазирования машины в k -й месяц, маш.-ч.

Заключение

Рассмотрение взаимосвязей между технологическими условиями строительства земляного полотна и ТЭП техники дает возможность более гибко подойти к вопросу формирования СДКМ и парка техники. Ежегодный мониторинг технического состояния средств механизации направлен на прогнозирование изменений их эксплуатационных показателей, что обеспечит своевременную замену техники для выполнения строительных работ в установленные сроки.

Предлагаемая схема управления структурой парка техники и разработанная математическая модель являются достаточно универсальными и применимы ко всему комплексу дорожно-строительных работ с учетом особенностей взаимодействия техники в составе специализированных отрядов. В этом направлении будут продолжены исследования.

Библиографический список

1. Боброва, Т.В. Проектно-ориентированное управление производством работ на региональной сети автомобильных дорог: монография / Т.В. Боброва. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2006. – 334 с.
2. Мальцев, Ю.А. Организационные и экономические аспекты применения мобильных парков машин в дорожном строительстве: монография / Ю.А. Мальцев, А.В. Мясников, А.Н. Горобец. – Балашиха: ВТУ при Спецстрое России, 2009. – 152 с.
3. Строительство путей сообщения на Севере: науч.-практ. издание / С.Я. Луцкий, Т.В. Шепитько, П.М. Токарев, А.Н. Дудников. – М.: ЛАТМЭС, 2009. – 289 с.
4. Боброва, Т.В. Обоснование групповых конструктивных решений земляного полотна на участках автомобильных дорог в условиях криолитозоны / Т.В. Боброва, А.А. Дубенков // Вестник СибАДИ. – 2015. – № 4 (44). – С. 57-64.
5. Боброва, Т.В. Особенности организации мобильных машино-дорожных комплексов при строительстве дорог в условиях криолитозоны / Т.В. Боброва, А.А. Дубенков, И.В. Тытарь // Архитектура, строительство, транспорт: материалы Международной научно-практической конференции (к 85-летию ФГБОУ ВПО «СибАДИ») / СибАДИ. – Омск, 2015. – С. 158-163.
6. Перфильев, М.С. Совершенствование методов формирования и модернизации производственных структур дорожно-эксплуатационных организаций: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / М.С. Перфильев; науч. рук. Т. В. Боброва; СибАДИ. – Омск, 2004. – 24 с.
7. Иванов, В.Н. Оптимальное планирование функционирования систем производственной, технической эксплуатации и развития парков дорожно-строительных машин: монография / В.Н. Иванов, Р.Ф. Салихов, М.Г. Груснев. – Омск: СибАДИ, 2013. – 196 с.
8. Боброва, Т. В. Модель формирования парка машин региональных дорожно-эксплуатационных организаций / Т. В. Боброва // Автомобильные дороги. – 2011. – № 1. – С. 148-151.
9. Иванов, В.Н. Прогнозирование объемов работ по технологическим процессам для формирования и развития систем машин дорожных организаций с учетом отраслевого спроса / В.Н. Иванов, Л.С. Трофимова, М.О. Погребная // Механизация строительства. – 2013. – № 9 (831). – С. 24-27.
10. Боброва, Т.В. Технико-экономическое обоснование производства дорожно-строительных работ в зимнее время: учеб. пособие / Т.В. Боброва; СибАДИ. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2000. – 83 с.
11. Канторер, С.Е. Методы обоснования эффективности применения машин в строительстве / С.Е. Канторер. – М.: Экономика, 1969. – 325 с.

MANAGEMENT STRUCTURE WITH THE MACHINE UNDER CONSTRUCTION SUBGRADE AT PASSING OBJECTS

T.V. Bobrova, R.F. Salikhov, M.G. Grusnev

Abstract. The article describes the method of management staff of specialized sets of road cars to excavate the construction of roads of considerable length (50 km or more) in a difficult environment for a number of years. The distribution volume of work on the rolling facility in accordance with the calendar in the project construction organization predicts an operating time of machines involved, their technical and economic indicators in each year of construction. The proposed model provides a rational adjustment of sets of machines and compositions in accordance with the predicted performance to make changes in the fleet structure in the production of works projects.

Keywords: sets of machines, park management structure diagram, mathematical model, machinery maintenance, technical and economic indicators of the use of machines.

References

1. Bobrova T.V. *Proektno-orientirovannoe upravlenie proizvodstvom rabot na regional'noj seti avtomobil'nyh dorog* [Project-oriented production management of works on the regional road network] T.V. Bobrova, Omsk, Izd-vo SibADI, 2006, 334 p.
2. Mal'cev Ju.A., Mjasnikov A.V., Gorobec A.N. *Organizacionnyye i jekonomicheskie aspekty primeneniya mobil'nyh parkov mashin v dorozhnom stroitel'stve* [Organizational and economic aspects of mobile parks machines for road construction]. Balashiha, VTU, Specstroj Rossii, 2009, 152 p.
3. *Stroitel'stvo putej soobshhenija na Severe* [The construction of Railways in the North Scientific-practical publication]. Luckij S.Ja., Shepit'ko T.V., Tokarev P.M., Dudnikov A.N. Moscow, LATMES, 2009, 289 p.
4. Bobrova T.V. *Obosnovanie gruppovyh konstruktivnyh reshenij zemljanogo polotna na uchastkah avtomobil'nyh dorog v uslovijah kriolitozony* [Justification of constructive solutions group subgrade on roads in areas under the permafrost zone]. T.V. Bobrova, A.A. Dubenkov, *Vestnik SibADI*, 2015, no 4 (44), pp. 57-64.
5. Bobrova T.V. *Osobennosti organizacii mobil'nyh mashino-dorozhnyh kompleksov pri stroitel'stve dorog v uslovijah kriolitozony* [Specifics of mobile parking road facilities in the construction of roads under the permafrost zone]. T.V. Bobrova, A.A. Dubenkov, I.V. Tytar'. Sbornik: *Arhitektura, stroitel'stvo, transport materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii* (k 85-letiju FGBOU VPO "SibADI"), Omsk, 2015, pp. 158-163.
6. Perfil'ev M.S. *Sovershenstvovanie metodov formirovaniya i modernizacii proizvodstvennyh struktur dorozhno-jekspluatacionnyh organizacij* [Improving the methods of formation and modernization of the productive structures of road maintenance

organizations]. autoabstract the dissertation on competition of a scientific degree of candidate of technical sciences: Omsk, 2004, 24 p.

7. *Optimal'noe planirovanie funkcionirovaniya sistem proizvodstvennoj, tehnichekoj jekspluatacii i razvitiya parkov dorozhno-stroitel'nyh mashin* [Optimal functioning of the production planning, the technical operation of systems and development of road-building machinery parks] V.N. Ivanov, R.F. Salihov, M.G. Grusnev, Omsk, SibADI, 2013, 196 p.

8. Bobrova T.V. *Model' formirovaniya parka mashin regional'nyh dorozhno-jekspluatacionnyh organizacij* [The model of formation of the regional fleet of road maintenance organizations]. T.V. Bobrova. *Avtomobil'nye dorogi*, 2011. no 1, pp. 148-151.

9. Ivanov V.N. *Prognozirovanie ob'emov rabot po tehnologicheskim processam dlja formirovaniya i razvitiya sistem mashin dorozhnyh organizacij s uchetom otraslevogo sprosja* [Estimates of the technological processes for the formation and development of systems of machines road organizations, taking into account industry demand]. V.N. Ivanov, L.S. Trofimova, M.O. Pogrebnaja. *Mehanizacija stroitel'stva*, 2013, no 9 (831), pp. 24-27.

10. *Tehniko-jekonomicheskoe obosnovanie proizvodstva dorozhno-stroitel'nyh rabot v zimnee vremja: Ucheb. posobie* [Feasibility study for the production of road construction in the winter time]. T.V. Bobrova, Omsk, Izd-vo SibADI, 2000, 83 p.

11. Kantorer S.E. *Metody obosnovaniya jeffektivnosti primeneniya mashin v stroitel'stve* [Methods of a substantiation of efficiency of the use of machines in construction]. S.E. Kantorer. Moscow, Jekonomika, 1969, 325 p.

Боброва Татьяна Викторовна (Омск, Россия) – доктор техн. наук, профессор, профессор кафедры «Экономика и проектное управление в транспортном строительстве» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5. e-mail: bobrova.tv@gmail.com).

Салихов Ринат Фокилевич (Омск, Россия) – кандидат техн. наук, доцент, доцент кафедры «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве» ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5. e-mail: salikhorinat@yandex.ru).

Груснев Михаил Григорьевич (Омск, Россия) – инженер-конструктор филиала «ОМО им. П.И. Баранова» АО «НПЦ газотурбостроения «САЛЮТ» (644021, г. Омск, ул. Б. Хмельницкого, 283. e-mail: gmgrusnev@gmail.com).

Bobrova Tatiana Viktorovna (Omsk, Russian Federation) – doctor technical sciences, Professor, Professor of department «Economics and project management in transport construction» Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI). (644080, 5 Mira prospect, Omsk, e-mail: bobrova.tv@gmail.com).

Salikhov Rinat Fokilevich (Omsk, Russian Federation) – candidate of technical science, docent of department «Operation and service of transport and technological machines and systems in construction» The Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI) (644080, 5 Mira prospect, Omsk, e-mail: salikhorinat@yandex.ru).

Grusnev Mikhail Grigor'evich (Omsk, Russian Federation) – design engineer of equipment «ОМО им. П.И. Баранова» branch of the organization JSC «Gaz-turbine Engineering Research and Production Center «SALUT». (644021, 283 B. Hmel'nickogo st., Omsk, Russian Federation, e-mail: gmgrusnev@gmail.com).

УДК 624.046

ПРИМЕНЕНИЕ СХЕМЫ ГИБКОЙ НИТИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПЕРЕКРЫТИЙ ПРИ АВАРИЙНОМ ОТКАЗЕ КОЛОННЫ

Ю.В. Краснощеков, С.О. Мельникова
ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск

Аннотация. В статье приведены результаты исследования несущей способности многоэтажного здания со связевым каркасом при аварийном отказе одной из колонн. Рассмотрены два варианта усиления сборных железобетонных перекрытий с целью предотвращения прогрессирующего обрушения. Для статического и динамического расчета усиленного перекрытия применена расчетная схема гибкой нити. Приведены примеры расчета здания на прогрессирующее обрушение.

Ключевые слова: аварийная ситуация, отказ колонны, прогрессирующее обрушение, гибкая нить, динамический эффект.

Введение

При проектировании зданий и сооружений классов КС-3 и КС-2 с массовым нахождением людей нормы рекомендуют выполнять расчет несущих конструкций на прогрессирующее (лавинообразное) обрушение [1]. Причинами прогрессирующего обрушения объектов строительства могут быть аварийные отказы конструктивных элементов при взрывных, ударных или сейсмических воздействиях.

При проектировании каркасных зданий в качестве аварийного воздействия обычно рассматривают отказ одной из колонн. Основное внимание в этом случае уделяют расчету элементов перекрытий, пролеты которых значительно увеличиваются. В зданиях со связевой схемой обеспечения пространственной жесткости балочные элементы перекрытий практически теряют способность работать на изгиб. Поэтому расчетная схема перекрытия над удаленной колонной рассматривается в виде мембраны или гибкой нити (струны).

В работе [2] рассмотрен пример использования подобной модели для исследования живучести здания со связевым каркасом, перекрытия которого усилены канатными затяжками. Результаты приближенного расчета усилий в затяжке и перемещений оказались весьма противоречивыми. Динамический эффект, вызванный внезапным удалением из расчетной схемы колонны, не учитывался.

Целью данного исследования явилось уточнение расчетной методики перекрытий по схеме гибкой нити с учетом динамического эффекта при аварийном воздействии, связанным с отказом колонны.

Определение усилия растяжения и перемещения канатной затяжки

Для статического расчета затяжки воспользуемся решением задачи о натяжении струны [3]. Закрепленная в двух точках струна пролетом $2l$ может иметь начальное натяжение N_0 . При приложении силы F в середине пролета она получает дополнительное натяжение N и перемещается под силой на величину f (рис. 1).

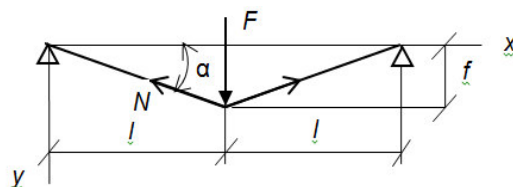


Рис.1. Расчетная схема гибкой нити

Составив сумму проекций сил на ось y , получим с учетом $\sin \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = f/l$

$$F - \frac{2Nf}{\sqrt{f^2 + l^2}} = 0. \quad (1)$$

Удлинение каждой ветви струны с модулем упругости E и площадью сечения A