

DOI: 10.12737/article\_5968b4505c4335.57566134

Прохоров С.В., канд. техн. наук, доц.

Владимирский государственный университет имени А. Г. и Н. Г. Столетовых

## ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СРЕДСТВ МЕХАНИЗАЦИИ

Oc204@bk.ru

Строительная отрасль на современном этапе переживает не легкие времена. Стоимость эксплуатации машин и механизмов при производстве строительно-монтажных работ занимают весомую часть в совокупной стоимости на возведение объекта. В представленной статье решается задача снижения затрат на техническую эксплуатацию парков техники и повышения уровня энергосбережения строительства в целом. Для достижения этой цели планируется применение современных методов производства работ, высокотехнологичной и энергосберегающей техники и технологии, а также использование оптимального комплекта механизации. В качестве критериев оптимизации выступает себестоимость эксплуатации и производительность комплекта. В ходе решения поставленной задачи были сформулированы выводы, показывающие, что энергоаудит механизации работ с сопоставлением производительности, себестоимости и затрат энергоресурсов позволяет более полно подходить к формированию парков машин, улучшить экологическую составляющую и повысить качество строительно-монтажных работ.

**Ключевые слова:** машинные парки, энергоэффективность, производительность, приведенные затраты, себестоимость.

**Введение.** Решение вопросов ресурсосбережения является одним из важнейших направлений современной экономики и промышленности. В большинстве случаев энергосбережение в строительстве рассматривается, как правило, на стадии проектирования зданий, их модернизации или реконструкции. Вместе с тем при производстве строительно-монтажных работ, направленных на возведение объекта, при хозяйственно-бытовом обеспечении строителей, участвующих в процессе, затрачивается не малое количество электроэнергии, тепла, топлива и других энергоресурсов. Достаточно весомую часть этих затрат занимают затраты на эксплуатацию строительных машин и механизмов.

При выборе комплектов механизации для производства строительно-монтажных работ к машинам, как правило, предъявляются следующие требования:

1. Высокая производительность и надежность;
2. Доступность машин в самые сжатые сроки и в нужном количестве;
3. Минимальная, обоснованная себестоимость машино-часа.

Производительность техники зависит от различных критериев и производственных условий. Вопросам повышения производительности и обеспечению работоспособности строительных машин и их систем посвящено достаточно много работ [1, 2]. В целом строительные организации

понимают, что без применения современной высокопроизводительной техники нельзя добиться конкурентного преимущества на строительном рынке. Вместе с тем обновление парка и его модернизация происходит не равномерно. В крупных регионах страны применяется высокопроизводительная техника зарубежного и отечественного производства, со сроком службы не превышающим 5–10 лет. В организациях регионального уровня осуществляется эксплуатация разновозрастных машинных парков техники зачастую со сверхнормативным сроком эксплуатации, которая требует к себе повышенного внимания [3, 4].

Необходима разработка комплексной методики, позволяющей не только повышать производительность, но и сокращать прямые издержки при эксплуатации парков строительной техники, а также повышать их энергоэффективность.

**Основная часть.** В качестве критериев оптимизации служат себестоимость эксплуатации и производительность комплекта.

$$c = \sum_{i=1}^n c_i \quad (1)$$

$$П = \sum_{i=1}^n П_i \quad (2)$$

Определяется усредненная производительность машины:

$$\overline{П}_i = \frac{\sum_{j=1}^n П_{ij} * K_{ti} * K_{vi} * K_{ri}}{n} \quad (3)$$

где  $\Pi_{ij}$  – производительность  $i$ -й машине на  $j$ -м объекте;  $k_{ti}$  – коэффициент, учитывающий влияние температуры на удорожание работ;  $k_{vi}$  – коэффициент, учитывающий влияние возраста техники на стоимость эксплуатации;  $k_{ri}$  – коэффициент, учитывающий влияние условий эксплуатации и структуры работ.

Одним из путей снижения себестоимости работ является повышение производительности техники за счет сокращения количества технологических операций. В области строительной и дорожной техники основным трендом повышения производительности является применение 2D и 3D-систем автоматического управления и позиционирования. В 2008 г. компания Topcon представила на рынок систему нивелирования под названием 3DMC2 для бульдозеров и грейдеров, существенно увеличивающую возможную скорость движения машины без потери точности позиционирования отвала. В зависимости от комплектации это достигается за счет комплексирования лазерных или GNSS-измерений с инерциальным блоком на основе гироскопов и акселерометров. Спустя несколько лет сначала компания Leica, а затем и Trimble также расширили свои системы инерциальным блоком [5].

Помимо этого, за счет дополнительных средств наблюдения за положением рабочего органа и качеством получаемой поверхности в режиме реального времени возможно регулирование производительности в зависимости от условий окружающей среды. В частности, машины Caterpillar бульдозер Cat D6K2 с 3D системой Trimble dual GPS и автогрейдер Cat 140M AWD с роботизированным тахеометром умеют автоматически поднимать нож для его разгрузки на основе анализа коэффициента проскальзывания гусениц и осуществлять планировку. Это не только позволяет максимально использовать технику, но и предотвращает её преждевременный износ и сокращает количество выбросов в атмосферу.

Применение современных систем автоматизации производства работ, в частности земляных, позволяет снизить количество технологических операций, что приводит к повышению производительности, сокращению времени работы машины, а значит, повышает ресурс до ремонта и ТО, что особенно важно при эксплуатации машинных парков со сверх нормативным сроком службы [6].

Программные средства компании VirtualSite Solutions позволяют в режиме реального времени отслеживать за техническое состояние, производительность и быстро определять недостаточно загруженные машины [7]. Интеграция этих продуктов с системами 2D и 3D позиционирования

позволяет более тщательно отслеживать эффективность использования машин и производить их техническое обслуживание. Среди российских производителей можно отметить систему СКАУТ, которая работает на базе спутниковых GPS и ГЛОНАСС технологий.

Входе расчетов определяется среднеквадратичное отклонение по производительности и по себестоимости, а также сравнение результатов от внедрения плановых мероприятий по совершенствованию организационных и технологических процессов со сложившимися в организации.

$$s_{\Pi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Pi - \bar{\Pi}_i)^2}{n}} \quad (4)$$

$$s_C = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (C - \bar{C}_i)^2}{n}} \quad (5)$$

Определяем коэффициент вариаций:

$$K_v = \frac{\sum_{i=1}^n (\Pi - \bar{\Pi}_i)^2}{\bar{\Pi}_i^2 * (n-1)} \quad (6)$$

Если он не превышает заданного значения 0,1–0,2 машины попадают в расчет.

Следующим этапом производится сравнение продолжительности работ с требуемой (заказчиком или по графику производства работ). При этом машины, продолжительность работы которых превышает требуемые показатели, исключаются из расчета. Если продолжительность работ жестко не ограничена, то в исходных данных указывается «произвольная» продолжительность и все машины попадают в расчет.

$$N_j^{пл} - N_{ij} \geq 0 \quad (7)$$

где  $N_j^{пл}$  – плановая продолжительность работ на  $j$ -ом объекте, дн;  $N_{ij}$  – расчетная продолжительность работ выполняемых  $i$ -ой машиной на  $j$ -ом объекте, дн.

Еще одним направлением в области совершенствования машинных парков строительных организаций является применение высокотехнологичного оборудования, оснащенного системами рекуперации, аккумулирования энергии и гибридными силовыми установками.

Производители современной строительной техники достаточно давно выпускают машины с гибридными установками, которые позволяют, не только снизить затраты на топливо, но и снизить уровень шума и выбросы в окружающую среду при их работе [8, 9]. Одним наиболее эффективных средств энергосбережения строительных машин с гидроприводом рабочего оборудования являются рекуперативные системы с аккумулятором энергии. В частности, для гидравли-

ческих одноковшовых экскаваторов такие системы можно подразделить на следующие группы:

- 1) механические:
  - с противовесами;
  - с пружинными или торсионными аккумуляторами;
- 2) тепловые:
  - с тепловыми аккумуляторами;
- 3) гидравлические:
  - с гидроаккумуляторами;
  - с дополнительными гидронасосом и гидромоторами;
- 4) комбинированные:
  - с электрогидроагрегатами.

В гидравлических экскаваторах Komatsu HB215LC-1, Cat 336E H кинетическая энергия рекуперируется и аккумулируется при торможении поворачивающейся надстройки. Накопленная энергия из конденсатора или азотного аккумулятора затем может использоваться в качестве вспомогательной для питания электромотора механизма поворота, либо для питания мотор-генератора, работающего как электромотор и добавляющего до 60 л.с. к мощности ДВС, а также приводящего в действие гидронасосы привода.

Еще одним направлением энергосбережения является превращение кинетической энергии от торможения в электрический ток. Дизель-электрический привод используется в огромной карьерной технике довольно давно. Новый импульс получило развитие приводов такого типа с появлением электронных систем управления. Система рекуперативного торможения позволяет останавливать машину без использования обычных тормозов, за счет чего увеличивается их ресурс. Кроме этого гибридная система позволяет экономить до 45 % топлива [10, 11].

Мировые производители подъемной техники уже достаточно давно выпускают грузовые и грузопассажирские подъемники, оснащенные механизмами рекуперации энергии при движении кабины вниз, что способствует сокращению потребляемой энергии. [12, 13]

В частности, применение частотного электропривода с модулем рекуперации в замены релейно-контакторных панелей позволяет существенно снизить потребления электроэнергии.

В частности, при использовании традиционных панелей до 70 % затраченной электроэнергии может уходить на обогрев воздуха, причём не только при спуске, но и при подъёме груза.

Сложившаяся практика использования частотного электропривода основывается на том, что электроэнергия, генерируемая двигателем при опускании груза или при торможении инер-

ционного механизма, передаётся на блоки тормозных сопротивлений и преобразуется в тепловую. У такого способа торможения есть ряд недостатков. Тормозной резистор подключается к каждому преобразователю частоты, что увеличивает стоимость электропривода и ухудшает массогабаритные показатели установки. Энергия торможения, за исключением потерь в элементах электропривода, выделяется в виде тепловой на тормозном резисторе, что приводит к его значительному нагреву и нерациональному использованию электрической энергии.

Альтернативой такому нерациональному использованию энергии является применение модулей рекуперации, которые заменяют резисторы в приводах с длительной работой в генераторном режиме или имеющих большую тормозную мощность, как, например, у подъёмных и инерционных механизмов. В этом случае энергия торможения электропривода возвращается в питающую сеть.

Применение частотного электропривода с модулем рекуперации позволяет:

1. получить экономию электроэнергии (поскольку энергия торможения может быть направлена на другие механизмы, снижается общее энергопотребление установки, а лишняя энергия возвращается в питающую сеть);
2. исключить нерациональный расход электроэнергии на обогрев воздуха;
3. уменьшить массу комплекта электрооборудования, а также занимаемое им пространство;
4. снизить количество нормо-часов обслуживания оборудования [14].

Конечно, современные образцы техники, обладающие высокими эксплуатационными качествами, имеют повышенную стоимость, но на фоне удорожания энергоресурсов их применение в долгосрочной перспективе позволит перейти на новый уровень в плане энергосбережения при выполнении СМР.

Определение затраты энергоресурсов на выполнение работ комплектом строительной техники может определяться по формуле:

$$E = \sum_{i=1}^n E_i * n_{ij} * K_{pi} \quad (9)$$

где  $E_j$  – норма потребления энергоресурсов;  $K_{pi}$  – коэффициент загрузки силового оборудования.

Коэффициент загрузки может определяться в зависимости от группы грунта, условий производства работ (температурно-влажностных условий, водонасыщения грунтов и т.д.) в результате энергоаудита в процессе выполнения работ. На первоначальном этапе он может приниматься равным 1, тогда расчет будет производиться только на основании нормативов расхода ГСМ.

После определения показателей производится решение задачи по подбору машин для выполнения объемов работ. Для этих целей могут использоваться существующие программные средства и методики. При этом в процессе выбора можно вводить ограничения по приоритетным факторам (себестоимости, производительности, энергозатратам) и получать наиболее оптимальные комплекты.

Помимо экономического эффекта применение энергоэффективных комплектов позволяет улучшить экологическую составляющую строительно-монтажных работ и сохранение среды прилегающих территорий.

**Выводы.** Российские образцы строительной техники в текущий момент не могут составить жесткой конкуренции машинам зарубежного производства, вследствие ограниченной номенклатуры машин, невысокого качества изготовления и технической поддержки. Однако если использовать зарубежный опыт в области автоматизации строительно-монтажных работ и применить новейшие системы контроля за техническим состоянием, энерго- и ресурсосбережением, то можно с одной стороны «продлить жизнь» существующим машинным паркам, а с другой произвести «омоложение» и накопить опыт работы с применением энергоэффективных технологий. С увеличением стоимости валюты и как следствие, удорожанием эксплуатации и приобретения европейских образцов, обновление парков строительной техники принимает стратегическое значение. Инвестиции, вкладываемые в машиностроение, приведут к увеличению занятости населения, возрождению производства в основных отраслях государства и как следствие снизят импортозависимость. Кроме этого, стратегическими партнерами могут выступить машиностроение Республики Беларусь и Китая.

Основными

1. Всесторонняя оценка машинокомплектов, организационных и технологических мероприятий позволяет оценивать и подбирать комплекты машин по приоритетным показателям.

2. Применение современных технологий и машин может существенно повысить конкурентоспособность строительных организаций.

3. Использование методики позволяет выполнить энергоаудит механизации работ с сопоставлением производительности, себестоимости и затрат энергоресурсов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зорин В.А. Основы работоспособности технических систем. Учебник для студ. высш.

учеб. заведений-М.: Издательский центр «Академия», 2009. 208 С.

2. Кравченко И.Н., Пучин Е.А. и др. Оценка надежности машин и оборудования: теория и практика. Учеб. Под ред. проф. И.Н. Кравченко. М.: Альфа-М: НИЦ Инфра-М, 2012. 336 С.

3. Прохоров С.В. Анализ влияния эксплуатационных факторов на принципы формирования парков строительной техники // Строительные и дорожные машины. 2012. №2 С. 34–37

4. Ким Б. Г. Формирование сети складов запасных элементов // Механизация строительства. 2014. № 6. С. 55–56

5. Речмедин М. Точность – вежливость королей // СТТ: Строительная техника и технологии. 2016. № 3(119). С. 28-37

6. Головин С.Ф. Основные факторы и показатели эффективности эксплуатации и сервиса дорожно-строительных машин // Механизация строительства. 2014. № 10. С. 26–31

7. <https://construction.trimble.com/products-and-solutions/visionlink> (дата обращения 16.05.2017)

8. Щербаков В.Ф. Рекуперативная система привода грузоподъемных машин // Строительные и дорожные машины 2008. №9. С. 49–51.

9. Гойдо М.Е. Некоторые пути повышения КПД объемных гидроприводов с управлением // Гидравлика, пневматика, приводы (HPD). 2013. № 2. С. 7–12.

10. Кузнецова В.Н., Савинкин В.В. К вопросу повышения энергоэффективности гидропривода машин // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2013. № 5. С. 22–25.

11. Щербачёв П.В., Семенов С.Е. Электрогидравлический привод с дроссельным регулированием с повышенной энергоэффективностью // Наука и образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 10. С. 93–104.

12. Kemmetmüller W., Fuchshumer F., Kugi A. Nonlinear pressure control of self-supplied variable displacement axial piston pumps // Control Engineering Practice. 2010. 18. Pp. 84–93.

13. Baum H. Adaptives Regelungskonzept für elektrohydraulische Systeme mit Mehrgrößenregelung // Ölhydraul. und Pneum. 2001. Т. 45. №. 9. Pp. 619–625.

14. Spirk S. Adaptive Regelung aktiver Fahrwerke // Herstellung Bachelor+Master Publishing? Ein Imprint der Diplomica Verlag GmbH, Hamburg, 2012. P.99

15. Попов Е.В. Техническая коллекция Schneider Electric. Выпуск № 12 Проектирование электроприводов крановых механизмов-2009. С. 29–31

---

**Prohorov S.V.****INCREASE IN LEVEL OF ENERGY EFFICIENCY OF CONSTRUCTION PRODUCTION ON THE BASIS OF APPLICATION OF MODERN MEANS OF MECHANIZATION**

*The construction branch at the present stage has not easy times. The cost of operation of cars and mechanisms by production of installation and construction works occupy a powerful part in cumulative cost on construction of an object. In the submitted article the problem of decrease in costs of technical operation of parks of the equipment and increase in level of energy saving of construction in general is solved. For achievement of this purpose application of modern methods of works, the hi-tech and energy saving equipment and technology, and also use of an optimum set of mechanization is planned. Cost of operation and productivity of a set acts as criteria of optimization. During the solution of an objective the conclusions showing that the energy audit of mechanization of works with comparison of productivity, prime cost and expenses of energy resources allows to approach more fully formation of parks of cars have been formulated to improve an ecological component and to increase quality of installation and construction works.*

**Key words:** *machine parks, energy efficiency, productivity, the given expenses, prime cost.*

---

**Прохоров Сергей Викторович**, кандидат технических наук, доцент кафедры строительного производства.

Владимирский государственный университет имени А.Г. и Н.Г. Столетовых

Адрес: Россия, 600000, Владимир, ул. Горького, д. 87.

E-mail: oc204@bk.ru