

УДК 621.86

## Система компенсации угла уклона подтележечного рельсового пути мостового крана

Заярный С. Л.,  
Павлов И. Д. \*

\* [slepцова0330@gmail.com](mailto:slepцова0330@gmail.com)

Калужский филиал МГТУ имени  
Н.Э. Баумана (Москва, Россия)

---

В работе рассмотрены способы компенсации угла уклона подтележечного рельсового пути, вызванного упругими деформациями пролетного строения мостового крана. Предложена механическая адаптивная система в качестве альтернативы строительному подъему, как способу компенсации угла уклона. Показаны возможности использования адаптивной механической системы, а также приведен вариант ее конструктивного исполнения.

---

**Ключевые слова:** Мостовой кран, пролетное строение, грузовая тележка, упругие деформации, угол уклона, рельсовый путь.

---

### Введение

Кран мостовой представляет собой грузоподъемное оборудование, которое активно используется на производственных предприятиях, складах, строительных площадках. Транспортировка материалов выполняется за счёт перемещения их по подкрановому пути. В промышленности применяются модели с широким диапазоном характеристик. Выбор определяется особенностями сферы использования и параметрами грузов.

Важная особенность кранов мостового типа – работа в трёх взаимно перпендикулярных направлениях. Груз может подниматься, движется отдельно тележка или вся несущая конструкция.

Пролетное строение мостового крана упруго прогибается под воздействием собственного веса и веса тележки с грузом. Величина прогиба регламентируется исходя из эксплуатационных и конструктивных требований. Согласно одному из них прогиб пролетного строения не должен препятствовать движению грузовой тележки по рельсовому пути. Для этого металлоконструкциям мостового крана придают высокую жесткость с применением высоколегированной стали.

Жесткость металлической конструкции крана должна быть такой, чтобы упругие деформации конструкции не препятствовали движению и торможению тележки при любой рабочей нагрузке.

Вместе с тем, как указано автором работы [1], «...требование контроля упругого прогиба в настоящее время в значительной степени определяется традицией и приводит к недоиспользованию материала по напряжениям. Существующие ограничения прогиба во многих случаях могут являться прямым препятствием для применения низколегированных сталей и легких металлов».

Применение низколегированных сталей и легких сплавов позволило бы значительно снизить затраты на изготовление мостовых кранов. Однако в этом случае необходима компенсация увеличенного упругого прогиба пролетного строения крана. Поэтому исследование данного вопроса представляется актуальной научной задачей.

## Основная часть

В результате прогиба пролетного строения крана возникает уклон подтележечного рельса, который необходимо учитывать при проектировании механизма перемещения грузовой тележки [2,3].

Результирующее значение уклона подтележечного рельса вычисляется по формуле

$$\theta = \theta_0 + \theta_s, \quad (1)$$

где  $\theta_0(\chi) = \theta_G(\chi) + \theta_b(\chi) < 0$  – уклон, возникающий в результате упругого прогиба металлической конструкции и рельсового пути от веса тележки с грузом, массой, равной номинальной грузоподъемности  $\theta_G(\chi)$ , и от собственного веса пролетного строения, с размещенным на нем оборудованием  $\theta_b(\chi)$ ;

$\theta_s(\chi) > 0$  угол уклона, создаваемый формой строительного подъема  $y_s$ .

Здесь [4]:

$$\theta_G(\chi) = -\frac{GL^2}{3EI_y} \chi(1-\chi)(1-2\chi); \quad (2)$$

$$\theta_b(\chi) = -\frac{G_b L^2}{24EI_y} (1-6\chi^2+4\chi^3), \quad (3)$$

где  $\chi = \frac{x}{L}$ ;  $G_b$  – вес пролетного строения с оборудованием;

$G = (G_Q + G_T)$  – временная нагрузка;

$G_T$  – вес грузовой тележки;

$G_Q$  – вес груза;

$E, I_y$  – модуль упругости и момент инерции пролетного строения.

С учетом (1), (2), (3) угол уклона  $\theta_0$  достигает своего максимального абсолютного значения при положении центра грузовой тележки на расстоянии  $x = (0,15 \dots 0,21)L$  от края балки пролетом  $L$  (меньшие значения принимаются для кранов больших пролетов и малой грузоподъемности, ГОСТ 34589 -2019), и составляет [4]:

$$\theta_0(\chi = 0,21) = -1,55(1 + \beta) \frac{y_0}{L}, \quad (4)$$

где  $\beta = \frac{G_b}{G}$ ;

$y_0 = \frac{GL^3}{48EI_y}$  – стрела прогиба от временной номинальной нагрузки, расположенной по

середине пролетного строения.

Строительным подъемом  $y_s$  является конструктивная величина, для назначения которой требуется выполнение обоснованных условий. Так, согласно [1], величина строительного подъема назначается из условия, позволяющего «обеспечить крановой балке при порожнем кране такой же выгиб вверх, какой выгиб вниз она имеет при максимальном грузе». Для этого, «строительный подъем  $y_s$  при изготовлении назначается равным сумме прогибов от постоянной (собственный вес)  $y_{G_b}$  и половины временной (тележка с номинальным грузом)  $y_G$  нагрузок», т.е.  $y_s = y_{G_b} + y_G/2$ .

С учетом этих соображений и формулы (4), угол уклона, вызванный строительным подъемом, при экстремальном значении  $\theta_0(\chi = 0,21)$ , составит

$$\theta_s(\chi = 0,21) = 1,55(2 + \beta) \frac{y_0}{2L}. \quad (5)$$

В случае реализации строительного подъема  $y_s$  в форме синусоиды изменение угла уклона по длине балки определяется как  $\theta_s(\chi) = \frac{y_{s,max}}{L} \pi \cos(\pi\chi)$ , а его значение при  $\chi = 0,21$ , составляет  $\theta_s(\chi = 0,21) = 0,78\pi \frac{y_{s,max}}{L}$ .

Однако реализация строительного подъема в форме синусоиды, хотя и является рациональной, но сложной технологической задачей. Поэтому строительный подъем проще создать в виде ломаной линии:  $\theta_s(\chi) = y_s/(0,25 \dots 0,3)L$  при  $0 < \chi < 0,25 \dots 0,3$ ;  $\theta_s(\chi) = 0$  при  $0,25 \dots 0,3 < \chi < 0,5$ .

Для определения обобщенных характеристик изменения углов уклона подтележечного рельсового пути, возникающих в результате упругого прогиба пролетного строения крана, представим соотношения (2), (3), в иных видах.

Соотношение (2) для определения угла уклона от временной нагрузки  $G$  представим в виде:

$$\theta_G(\chi) = G_i L^2 \nu_\alpha \phi_G(\chi), \quad (7)$$

где  $\nu_\alpha = \frac{1}{3EI_y}$  – изгибная податливость пролетного строения;

$\phi_G(\chi) = -(\chi - 3\chi^2 + 2\chi^3)$  – линия влияния (функция формы) угла наклона упругой линии пролетного строения;

$G_i = (2 - i)G_Q + G_T$  – вес груза при  $i$  - м нагрузочном режиме работы крана.

Соотношение (3) для определения угла уклона в зависимости от постоянной нагрузки  $G_b$  представим в виде:

$$\theta_b(\chi) = \beta_i G_i L^2 \nu_\alpha \phi_b(\chi), \quad (8)$$

где  $\phi_b(\chi) = -\frac{1}{8}(1 - 6\chi^2 + 4\chi^3)$  – функция формы угла наклона упругой линии пролетного строения, при постоянной (распределенной) нагрузке;

$G_i = (2 - i)G_Q + G_T$  – вес груза при  $i$  - м нагрузочном режиме работы крана.

С учетом (7) и (8) соотношение  $\theta_0(\chi) = \theta_G(\chi) + \theta_b(\chi)$ , для различных нагрузочных режимов работы крана, примет вид:

$$\theta_{i,\Sigma}(\chi) = G_i L^2 \nu_\alpha \psi_i(\chi), \quad (9)$$

где  $G_i$  – вес груза при  $i$  - м нагрузочном режиме работы крана;

$\psi_i(\chi) = \beta_i \phi_b(\chi) + \phi_G(\chi)$  – функциональная зависимость, определяющая качественную характеристику изменения углов уклона рельсового пути, при " $i$ "-тых нагрузочных режимах работы крана;

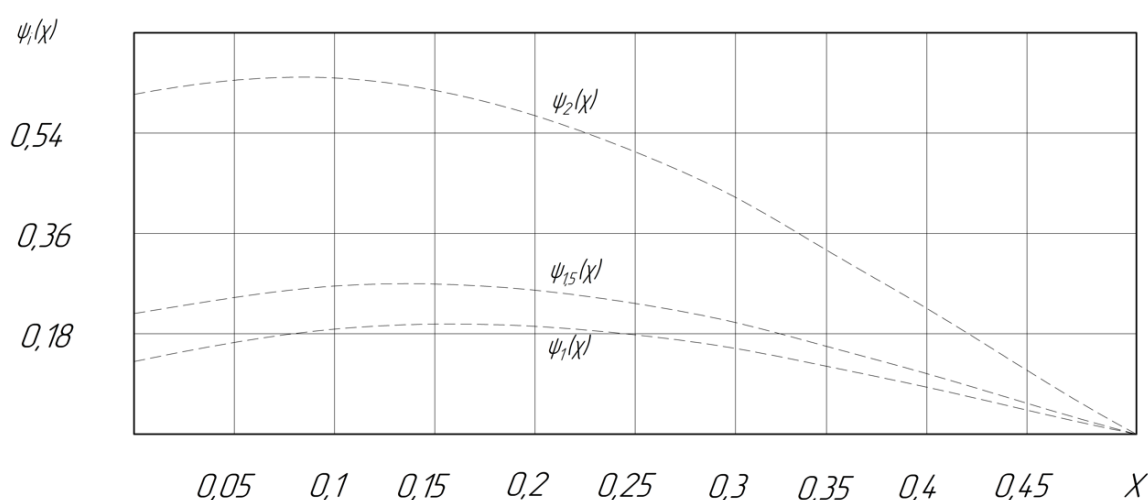
$\beta_i = \frac{G_b}{(2-i)G_Q + G_T}$  – нагрузочный коэффициент режима работы крана;

$i = 1$  – рабочий режим с максимальным грузом;

$i = 2$  – холостой режим;

$1 < i < 2$  – рабочий режим с неполной нагрузкой.

В качестве примера на рис. 1 представлены графики функциональных зависимостей  $\psi_1(\chi), \psi_{1,5}(\chi), \psi_2(\chi)$ . Очевидно, что ту же форму будут иметь и функции  $\theta_{i,\Sigma}(\chi)$ , определяющие характеристику изменения углов уклона рельсового пути при различных нагрузочных режимах работы крана (9).



**Рис.1.** Функциональные зависимости характеристик изменения углов уклона рельсового пути, при характерных нагрузочных режимах работы крана:  $\psi_1(\chi)$ ,  $\beta_1 = 1$  (это для случая, когда вес балки  $G_b$  равен весу временной нагрузки  $G = (G_Q + G_T)$ );  $\psi_{1,5}(\chi)$ ,  $\beta_{1,5} = 1,66$ ;  $\psi_2(\chi)$ ,  $\beta_2 = 4,85$ .

Реализация характерных особенностей изменения функций  $\theta_{i,\Sigma}(\chi)$ , в адаптивной механической системе, позволит обеспечить формирование компенсирующих уклонов  $\theta_{i,\kappa}(\chi)$  рельсового пути грузовой тележки мостового крана, исключая влияние уклонов подтележечного рельсового пути, возникающих в результате упругого прогиба пролетного строения крана, на сопротивление передвижению грузовой тележки [5]:

$$\theta_{i,\kappa}(\chi) = -\theta_{i,\Sigma}(\chi). \quad (10)$$

Решение этой задачи является особенно актуальной для металлоконструкций мостовых кранов, выполненных из низколегированных сталей, которые обладают значительной вертикальной податливостью [6].

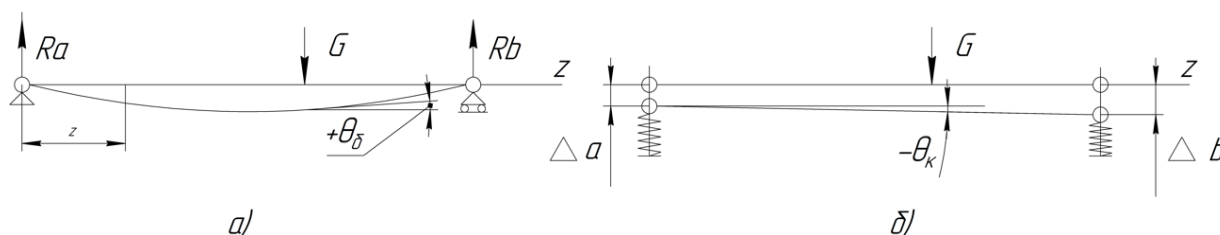
Из рассмотрения графиков изменения функции  $\psi_i(\chi)$  (рис. 1) видно, что они могут быть аппроксимированы тремя участками кусочно-линейных функций: возрастающая функция; стационарная функция; убывающая функция. Эти особенности, очевидно, будут присущи и функциям  $\theta_{i,\Sigma}(\chi)$  и  $\theta_{i,\kappa}(\chi)$ .

Одним из вариантов адаптивной системы с характеристиками (10), является система, имеющая кинематическую подвижность в вертикальной плоскости [5], которая может быть обеспечена установкой пролетного строения на упругие опоры [7]. В этом случае, величины компенсирующих уклонов должны находиться в нелинейной функциональной зависимости от текущего положения грузовой тележки, а условие (10), заменяется условием минимизации результирующего значения уклона подтележечного рельса, определяемого как

$$\theta(\chi) = \theta_0(\chi) + \theta_k(\chi) \rightarrow \min, \quad (11)$$

где  $\theta_k(\chi) > 0$  – кинематический уклон, возникающий в результате перемещения упругих опор.

На рис. 2 показана принципиальная схема варианта такой системы в случае установки пролетного строения мостового крана на упругие опоры с необходимыми характеристиками.



**Рис 2.** Схема компенсации уклонов рельсового пути грузовой тележки при установке моста крана на упругие опоры: а) схема формирования уклона при упругом деформировании пролетного строения мостового крана; б) схема компенсации уклона при упругом деформировании опор пролетного строения, пропорционально изменению положения грузовой тележки.

$G$  – временная нагрузка;  $R_a, R_b$  – реакции связи;  $\theta_\delta$  – угол уклона в случае деформирования пролетного строения;  $\theta_k$  – угол уклона в случае компенсации уклонов;  $\Delta a, \Delta b$  – упругая деформация опор пролетного строения.

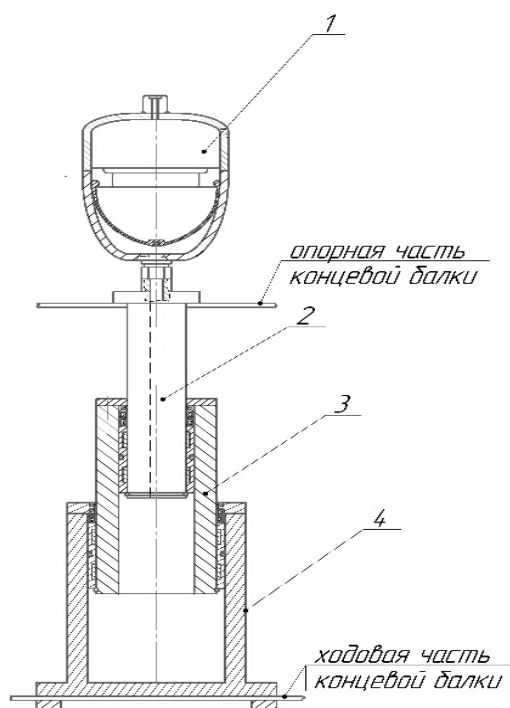
Величина кинематического уклона, согласно рис. 2 б), определяется из соотношения

$$\theta_k(\chi) = \frac{1}{L} (\Delta_b - \Delta_a), \quad (12)$$

где  $\Delta_{a(b)} = R_{A(B)} * \mu(\Delta)$  – перемещение опор под нагрузками  $R_{A(B)}$ ;

$\mu(\Delta)$  – характеристика нелинейной жесткости упругой опоры.

Как видно на рис. 1, эффективность упругой опоры, для компенсации упругих деформаций пролетного строения крана, обеспечивается в случае ее нелинейной механической характеристики, с выраженными участками возрастающей жесткости, при перемещении грузовой тележки в пределах  $0,1 \dots 0,15 < \chi < 0,5$ . Такая характеристика может быть обеспечена конструктивным исполнением упругой опоры, в частности в виде телескопического гидравлического цилиндра с пневмогидравлическим аккумулятором, конструкция и механическая характеристика которой представлена на рис. 3.



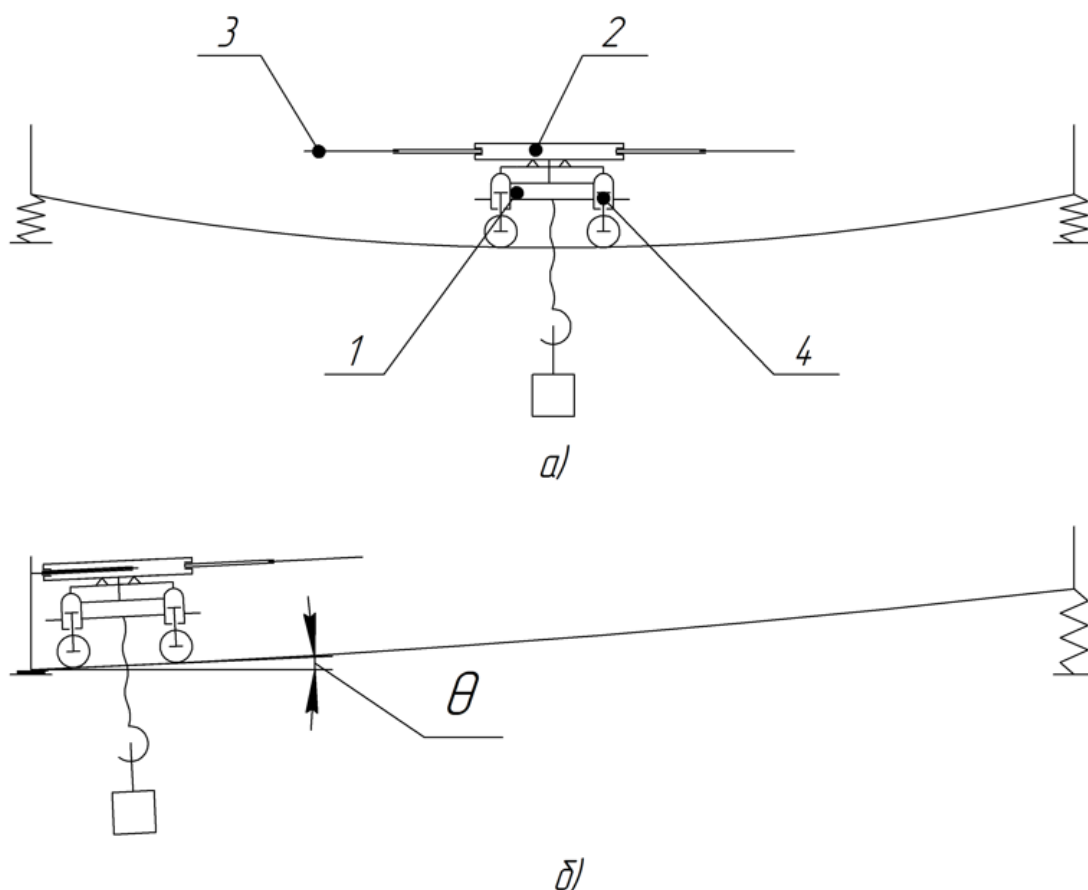
**Рис. 3.** Телескопическая гидростатическая опора. а) конструкция гидростатической опоры: 1- пневмогидравлический аккумулятор; 2-шток первой ступени; 3-шток второй ступени; 4-корпус. б) характеристика гидростатической опоры: 1-характеристика первой ступени; 2-характеристика второй ступени;  $F_0$ -усилие статического положения, определяемое давлением зарядки аккумулятора;  $\Delta_1, F_1$ - параметры первой ступени;  $\Delta_2, F_2$ - параметры второй ступени.

Верхнее статическое положение гидростатической опоры, определяется давлением зарядки аккумулятора, при котором обеспечивается компенсация постоянной нагрузки  $F_0$ , равной весу пролетного строения. При временной нагрузке, усилия, действующие на статическую опору, компенсируются последовательной работой ее первой и второй ступеней.

Нижнее статическое положение гидростатической опоры, обеспечивается конечным положением штоков первой и второй ступеней, при их упоре в дно корпуса гидростатической опоры. Тем самым формируется нелинейная механическая характеристика гидростатической опоры.

Для компенсации углов уклона рельсового пути на участке перемещения грузовой тележки в пределах  $0,1 \dots 0,15 > \chi > 0$ , (рис.1), предусматривается установка на грузовой тележке 1, показанной на (рис.4), гидростатической системы, состоящей из гидростатического телескопического упора 2 и опорных гидроцилиндров 4, установленных в системе подвески ее ходовых колес.

При положении тележки 1 (рис. 4 а) в промежутке пролетного строения  $0,1 \dots 0,15 < \chi < 0,5$ , шток 3 гидростатического упора 2 выдвинут, штоки опорных гидроцилиндров 4 упираются в днище корпусов, гидроцилиндры 4 трансформируются в жесткую опору, а подвески ее ходовых колес, в жесткую подвеску. При положении грузовой тележки 1, на краю пролетного строения,  $0,1 \dots 0,15 > \chi > 0$ , (рис. 4 б), один из телескопических штоков 3, упираясь в концевой упор, перемещается, вытесняя по гидравлическим линиям рабочую жидкость в опорные гидроцилиндры. При этом, в гидростатических упорах создается давление и продольное компенсирующее усилие, пропорциональное нагрузке на ходовые колеса.

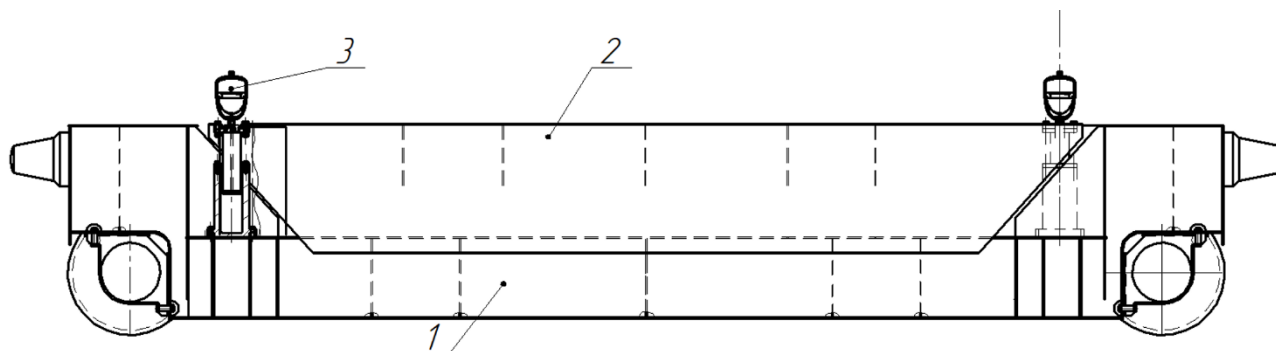


**Рис. 4.** Схема компенсации углов уклона рельсового пути при крайних положениях грузовой тележки: 1- грузовая тележка; 2 – гидростатический упор; 3 – телескопический шток; 4 – упругие опоры.

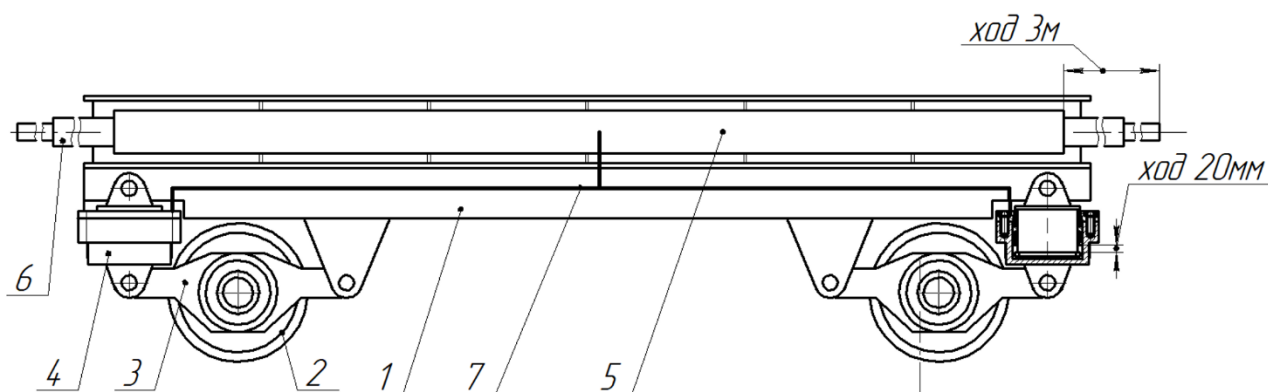
На рис. 5 представлен вариант конструктивного исполнения концевой балки, состоящей из опорной 1 и ходовой 2 частей, между которыми установлены упругие, гидростатические опоры 1. Деформации гидростатических опор, при изменении положения грузовой тележки  $0,25 \dots 0,3 < \chi < 0,5$ , формируют нелинейно изменяемый кинематический уклон пролетного строения. При  $0 < \chi < 0,25 \dots 0,3$ , шток гидростатической опоры занимает свое крайнее положение (упирается в дно корпуса), при котором устанавливается максимальное, стационарное, значение угла кинематического уклона пролетного строения.

На рис. 6 представлен вариант конструктивного исполнения грузовой тележки, оборудованной гидростатическими упорами, выполненными в виде телескопических гидроцилиндров [8].





**Рис. 5.** Конструктивная схема концевой балки с гидростатическими опорами: 1 – ходовая часть концевой балки; 2 – опорная часть концевой балки; 3-гидростатическая опора.



**Рис. 6.** Конструктивная схема грузовой тележки с гидростатическими упорами: 1 – рама; 2 –ходовые колеса; 3 – рычаг; 4 – гидростатическая опора грузовой тележки; 5 – гидростатический упор; 6 – телескопический шток гидростатического упора; 7 – гидравлическая линия.

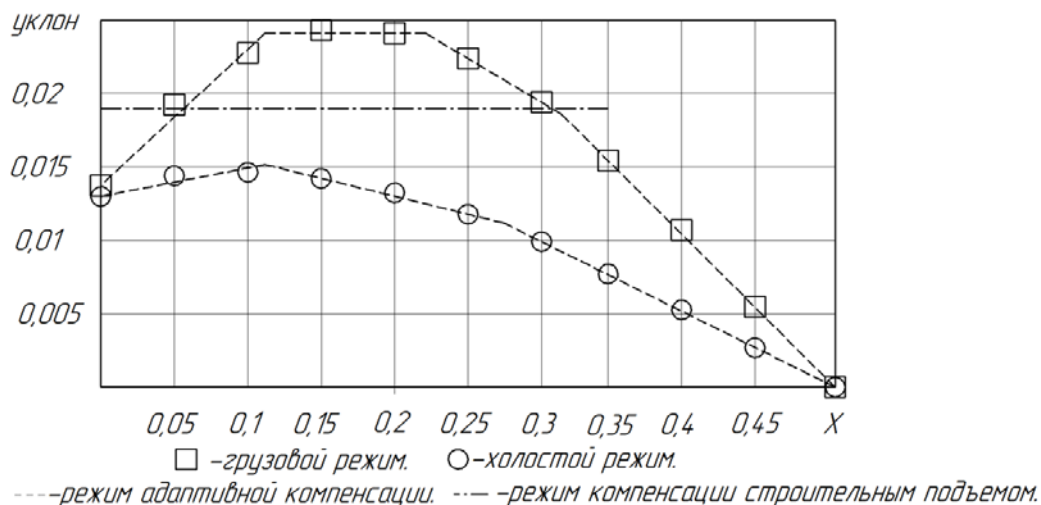
Возможность компенсации негативных факторов, возникающих при увеличении упругих деформаций пролетного строения крана, позволяет применять в его конструкции не только низколегированную сталь, но и выполнять его из двутаврового прокатного профиля [6], что позволит существенно повысить технологичность и снизить металлоемкость пролетного строения крана. Так: согласно ГЭСНм 81-03-38-2001, трудоемкость изготовления 1 тонны балки коробчатого сечения из листового металла в 3,9 раза больше, чем трудоемкость изготовления горячекатаной двутавровой балки; согласно СТО 24.09.-5821-01-93, надежность сварной металлоконструкции на 15% ниже, надежности конструкции выполненной из прокатного профиля, что предопределяет возможность снижения ее металлоемкости.

В качестве варианта конструктивной реализации предложенной адаптивной системы компенсации углов уклона рельсового пути грузовой тележки, был рассмотрен двухбалочный мостовой кран с режимом работы крана 5К, грузоподъемностью  $G_Q = 100 \text{ кН}$ , с грузовой тележкой весом  $G_T = 24 \text{ кН}$ , с пролетным строением выполненным из двутавров [6], изготовленных из низколегированной стали с категорией прочности  $R_y = 370 \text{ МПа}$ . Расчет пролетных балок моста, показал, что условиям прочности по второй группе предельных состояний по РТМ 24.090.54.-79 для пролета  $L = 34,5 \text{ м}$  удовлетворяет прокатный двутавр 60Б2 ГОСТ 26020, с погонной массой  $1150 \text{ Н/м}$ . В этом случае, вес пролетного строения, с учетом коэффициента надежности по собственному весу конструкции  $\gamma_G = 1,2$  [4], учитывающего обустройство пролетного строения, составит  $G_b = 95 \text{ кН}$ , а значения



коэффициентов нагрузки и изгибной податливости пролетного строения в (9) составляют:  $\beta_1 = 0,766$ ;  $\beta_2 = 3,96$ ;  $\nu_\alpha = 0,95 \cdot 10^{-9} [1/H \cdot \text{м}^2]$ .

Изменения параметров деформированного состояния пролетного строения двухбалочного мостового крана, выполненного из прокатного двутавра 60Б2 ГОСТ 26020, показаны на рис.7.



**Рис. 7.** Изменения параметров деформированного состояния пролетного строения мостового крана, выполненного из прокатный двутавр 60Б2 ГОСТ 26020.

Здесь представлены расчетные значения упругих деформаций рельсового пути пролетного строения мостового крана, при грузовом и холостом режимах нагружения, а также представлены графические зависимости режимов адаптивной компенсации рассчитанных из условия (12), с учетом нелинейных характеристик упругих опор. Их сравнение, определяющее величину некомпенсированного угла уклона подтележечного рельса, позволяет отметить особенности его формирования для различных вариантов исполнения пролетного строения мостового крана: в случае пролетного строения выполненного со строительным подъемом, величина некомпенсированного уклона составляет: при грузовом режиме  $0 < \chi < 0,25 \dots 0,3$  до  $\theta = 0,005$ ; при холостом режиме  $0 < \chi < 0,25 \dots 0,3$  до  $\theta = 0,01$ ; при грузовом режиме  $0,25 \dots 0,3 < \chi < 0,5$  до  $\theta = 0,015$ ; при холостом режиме  $0,25 \dots 0,3 < \chi < 0,5$  до  $\theta = 0,08$ . В случае применения адаптивной системы компенсации угла уклона подтележесного рельса, величина некомпенсированного угла уклона по всей длине пролетного строения, для грузового и холостого режимов работы крана, имеет незначительную величину, и, как видно из рис.7, существенно меньше 0,002.

## Выводы

Эффективность использования адаптивной системы компенсации углов уклона подтележечного рельса, возникающих вследствие упругих деформаций пролетного строения крана, определяется несколькими показателями: снижением величины некомпенсированного уклона, до значений менее 0,002 принятых при расчете согласно [3], что позволяет повысить эффективность привода передвижения грузовой тележки, в том числе, при значительных деформациях пролетного строения крана; возможностью изготовления пролетного строения крана из прокатных балок двутаврового профиля, что повышает технологичность его изготовления и снижает его металлоемкость.

## Список литературы

1. Гохберг М. М. Металлические конструкции подъемно транспортных машин. М.: Машиностроение, 1969. 522 с.
  2. Шабашов А. П., Лысяков А. Г. Мостовые краны общего назначения. М.: Машиностроение, 1980. 304 с.
  3. Справочник по кранам: В2 т.Т 2. Характеристики и конструктивные схемы кранов. Крановые механизмы, их детали и узлы. Техническая эксплуатация кранов. Под общ. Ред. М. М. Гохберга.-М.: Машиностроение, 1988.-559 с.: ил.
  4. Соколов С.А. Металлические конструкции подъемно транспортных машин. СПб.: Политехника, 2005 423 с.
  5. Заярный С. Л. Параметрические модели сопротивлений перемещению грузовой тележки мостового крана. Научно-технический вестник Брянского государственного университета, 2024, №1, с.24-36.
  6. Патент №2803209 Российская Федерация: №2022102679: заявл. 03.02.2022: опубл. 11.09.2023/ С.Л. Заярный; 13 с.
  7. Патент №2812012 Российская Федерация: №2022105672: заявл. 02.03.2022: опубл. 04.09.2023/ С.Л. Заярный; 13 с.
  8. Никитин О.Ф. Гидравлика и гидропневмопривод. М.: МГТУ им. Баумана, 2010 г. 414 с.
- 

## АВТОРЫ

**Заярный Сергей Леонидович**, кандидат технических наук, доцент кафедры «Подъемно-транспортные системы» Калужского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана, [texnakon@yandex.ru](mailto:texnakon@yandex.ru).

**Павлов Иван Дмитриевич**, студент кафедры «Подъемно-транспортные системы» Калужского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана, [slepova0330@gmail.com](mailto:slepova0330@gmail.com)

# Machines & Plants Design & Exploiting

*Electronic journal  
International Public Organization  
“Integration strategy”  
<http://maplants-journal.ru>*

*//Machines and Plants:Design and Exploiting.  
2024. № 2. pp. 1 – 12.*

DOI:

Received: 12.06.2024

Accepted for publication: 04.10.2024

© Interntional Public Organization “Integration strategy”

## The system of compensation of the angle of inclination of the underbody rail track of the bridge crane

Sergey L. Zayarny,  
Ivan D. Pavlov\*

\* [slepcova0330@gmail.com](mailto:slepcova0330@gmail.com)

Kaluga Branch of the Bauman Moscow State  
Technical University, Moscow, Russian  
Federation

---

The paper considers ways to compensate for the angle of inclination of the underbody rail track caused by elastic deformations of the superstructure of the bridge crane. A mechanical adaptive system is proposed as an alternative to construction lifting, as a way to compensate for the slope angle. The possibilities of using an adaptive mechanical system are shown, as well as a variant of its design.

---

**Keywords:** overhead crane, superstructure, cargo truck, elastic deformations, slope angle, rail track.

---

### References

1. Gokhberg M. M. Metal structures of lifting and transport machines. Moscow: Mashinostroenie, 1969. 522 p.
2. Shabashov A. P., Lysyakov A. G. General purpose overhead cranes. Moscow: Mashinostroenie, 1980. 304 p.
3. Reference book on cranes: V2 t.T. 2. Characteristics and design schemes of cranes. Crane mechanisms, their parts and assemblies. Technical operation of cranes. Under the general Editorship of M. M. Gokhberg.-M.: Mechanical Engineering, 1988.-559 p.: ill.
4. Sokolov S.A. Metal structures of lifting and transport machines. St. Petersburg: Politehnika, 2005 423 p.
5. Zayarny S. L. Parametric models of resistance to movement of a cargo truck of an overhead crane. Scientific and Technical Bulletin of Bryansk State University, 2024, No. 1, pp.24-36.
6. Patent No.2803209 Russian Federation: No.2022102679: published 03.02.2022: publ. 11.09.2023/ S.L. Zayarny; 13 p.

7. Patent No.2812012 Russian Federation: No.2022105672: published 02.03.2022: published 04.09.2023/ S.L. Zayarny; 13 p.

8. Nikitin O.F. Hydraulics and hydropneumatic drive. Moscow: Bauman Moscow State Technical University, 2010 414 p.

---

#### AUTHORS

**Sergey L. Zayarny**, Associate Professor of Technical Sciences, Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University, [texnakon@yandex.ru](mailto:texnakon@yandex.ru)

**Ivan D. Pavlov**, student, Kaluga Branch of the Bauman Moscow State Technical University, [slepcova0330@gmail.com](mailto:slepcova0330@gmail.com).

УДК 621.866-82

## Методика расчета усилия, действующего в гидроцилиндре, и давления в гидравлической системе подъема самоходных модульных транспортных средств

Пузров М.А.

[puzrovma@student.bmstu.ru](mailto:puzrovma@student.bmstu.ru)

МГТУ им. Н. Э. Баумана (Москва, Россия)

---

В данной статье рассматривается конструкция подвески самоходного модульного транспортного средства (СМТС) и методика расчета усилия, действующего в гидроцилиндре данной подвески, а также расчета давления в гидравлической системе модульного транспортера.

Актуальность данной статьи обусловлена тем, что вопросы исследования процессов функционирования подвески СМТС изучены недостаточно в настоящее время. Отсутствуют методики расчета подвески СМТС, что может приводить к неоптимальности конструкции подвески и, как следствие, к снижению её надежности, увеличению её массы и объемов испытаний.

Во введении рассмотрен пример модуля СМТС и его гидравлической подвески; показаны основные схемы построения СМТС; описаны сферы применения модульных транспортеров и их функции. В основной части статьи представлены методики расчета усилия, действующего в гидроцилиндре, и давления гидравлической системы подъема самоходных модульных транспортных средств.

---

**Ключевые слова:** Модульный транспортер, самоходное транспортное средство, гидравлическая подвеска, давление в гидросистеме.

---

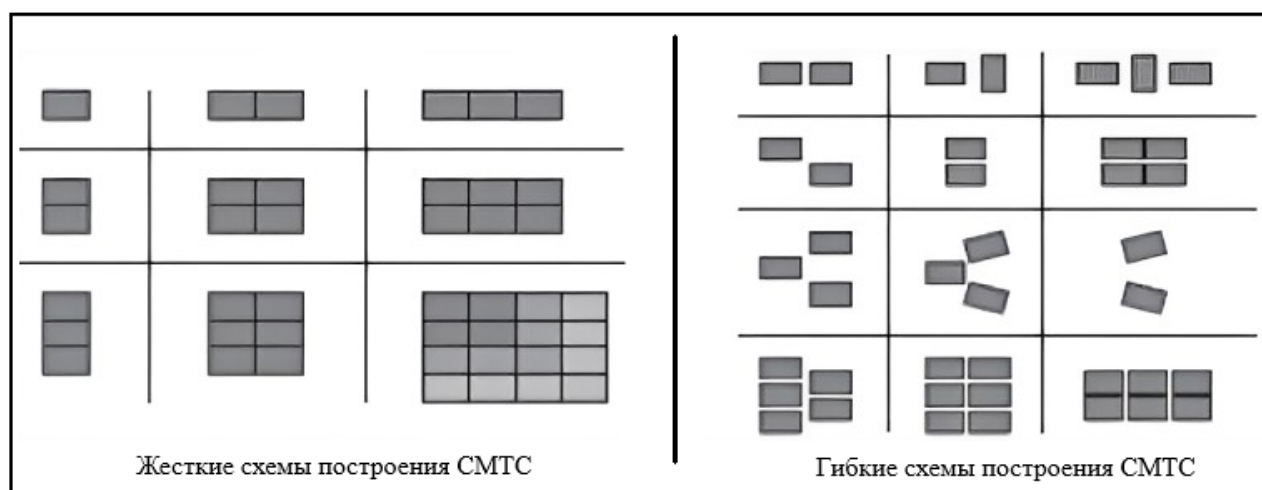
### Введение

Самоходное модульное транспортное средство (СМТС) – это транспортное средство (ТС), которое состоит из отдельных модулей с числом осевых линий обычно от трех до шести. СМТС приводится в движение гидромоторами, которые размещены на приводных осях модульного транспортера (см. рисунок 1).



**Рис. 1.** Пример СМТС с 6-осевыми линиями [1]

Модули могут быть соединены между собой как в продольном, так и поперечном направлении для формирования ТС необходимой конфигурации (см. рисунок 2). Конфигурация ТС определяется габаритами груза и его массой, прочностью рамы модульного транспортера, допустимыми осевыми нагрузками на опорную поверхность и т.д.



**Рис. 2.** Возможные схемы построения СМТС [2]

Модульные транспортеры применяются для транспортировки крупногабаритных и тяжеловесных грузов (КТГ), в том числе промышленного оборудования, специализированной техники, кораблей и судов, модульных заводов и т.д. Габариты перевозимых с помощью СМТС грузов обычно варьируются от нескольких метров до сотен метров, масса грузов может составлять от нескольких десятков тонн до нескольких тысяч тонн [3, 4]. Пример перевозки КТГ на СМТС показан на рисунке 3.

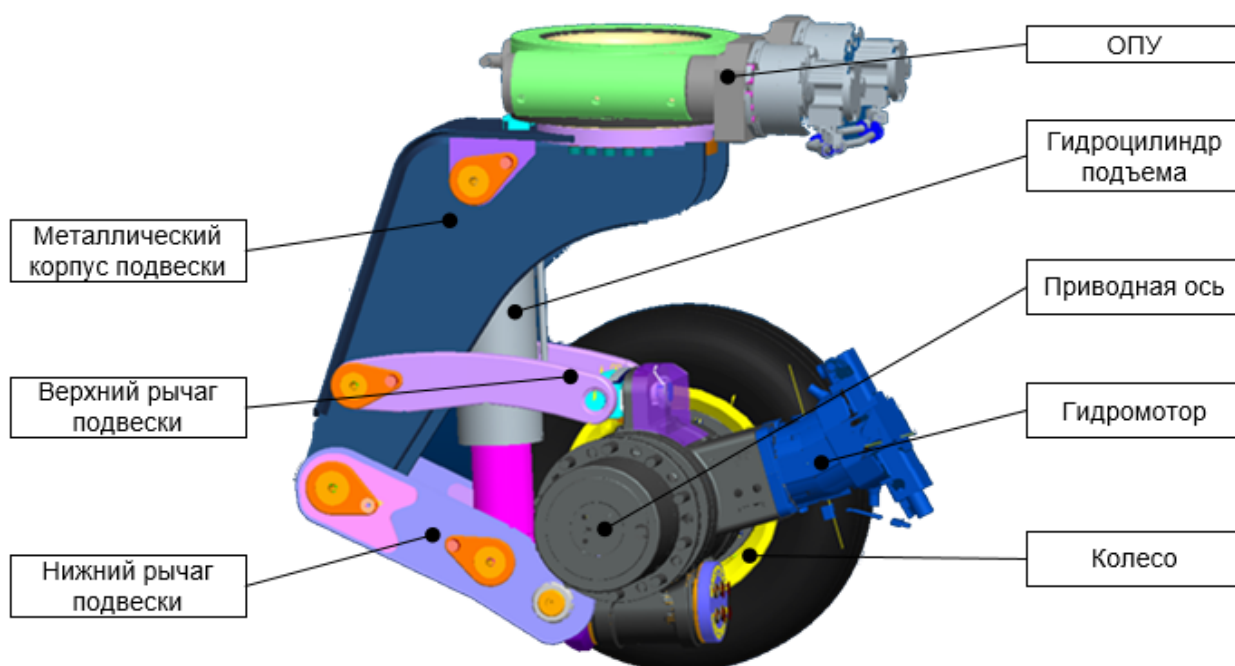
СМТС оснащаются гидравлической подвеской (см. рисунок 4), которая за счет большого вертикального хода ( $\pm 300\text{--}350$  мм относительно транспортного положения) помимо основной своей функции – преодоления неровностей опорной поверхности, обеспечивает выполнение погрузочно-разгрузочных работ бескрановым методом.





**Рис. 3.** Перевозка КТГ с помощью модульных транспортеров [4]

СМТС оснащаются гидравлической подвеской (см. рисунок 4), которая за счет большого вертикального хода ( $\pm 300-350$  мм относительно транспортного положения) помимо основной своей функции – преодоления неровностей опорной поверхности, обеспечивает выполнение погрузочно-разгрузочных работ бескрановым методом.



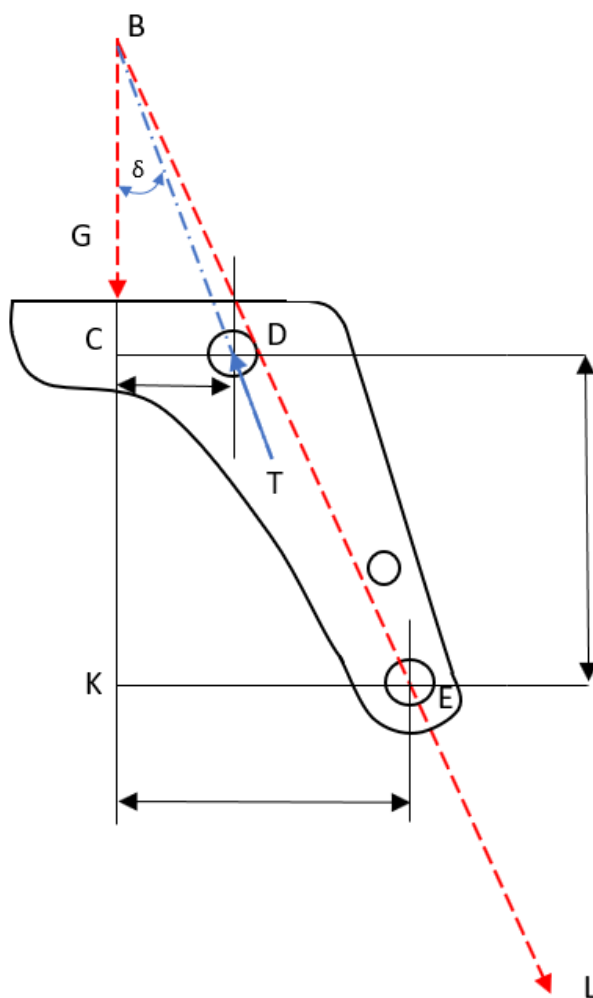
**Рис. 4.** Пример гидравлической подвески СМТС грузоподъемностью 60 тонн на ось



Далее рассмотрим непосредственно методики расчета усилия, действующего в гидроцилиндре подвески СМТС и давления в гидравлической системе подъема самоходного модульного транспортного средства.

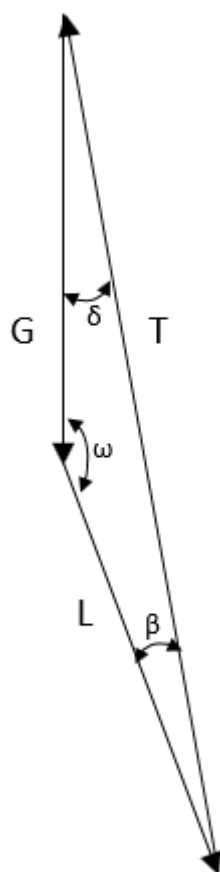
### Методика расчета усилия, действующего в гидроцилиндре подъема СМТС

Рассмотрим схему металлического корпуса подвески СМТС, изображенную на рисунке 5 со следующими обозначениями:  $G$  – полная нагрузка на гидравлическую подвеску;  $T$  – усилие гидроцилиндра подъема;  $L$  – вектор силы, проходящий через шарнирное соединение нижнего рычага подвески.



**Рис. 5.** Схема подвески рассматриваемого СМТС под действием нагрузки

Если пренебречь собственным весом металлического корпуса подвески, то он находится в равновесии под действием нескольких непараллельных сил. Данные силы изображены на рисунках 5 и 6. Согласно теореме о балансе трёх сил [5], линии их действия должны пересекаться в одной точке (точка В на рисунке 5).



**Рис. 6.** Схема сил, действующих на металлический корпус подвески

Из прямоугольного треугольника BCD, изображенного на рисунке 5, определим расстояние BC по формуле (1):

$$BC = CD \times \operatorname{ctg} \delta, \quad (1)$$

где  $\delta$  – угол СВТ на рисунке 5, измеряемый экспериментально для рассматриваемого СМТС.

Расстояние ВК определим по формуле (2), зная BC, рассчитанное по формуле (1), и СК, взятое непосредственно из размеров подвески СМТС.

$$BK = BC + CK \quad (2)$$

Далее по формуле (3) определяем угол  $\alpha$  ( $\angle$  КВЕ), зная КЕ, взятое непосредственно из размеров подвески, и ВК, рассчитанное по формуле (2).

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{KE}{BK} \quad (3)$$

Определим угол  $\omega$ , который изображен на рисунке 6, по формуле (4), так как  $\alpha$  и  $\omega$  – смежные углы:

$$\omega = 180^\circ - \alpha. \quad (4)$$

Угол  $\beta$  определим из треугольника, изображенного на рисунке 6, по формуле (5):

$$\beta = 180^\circ - \delta - \omega. \quad (5)$$

По формуле (6) определим  $T$  (усилие гидроцилиндра подъема), используя теорему синусов для треугольника, изображенного на рисунке 6.

$$T = \frac{G \times \sin \omega}{\sin \beta} \quad (6)$$

### Расчет давления в гидравлической системе подъема СМТС

Усилие гидроцилиндра подъема подвески СМТС также можно рассчитать по формуле (7):

$$T = q \times S, \quad (7)$$

где  $q$  – рабочее давление гидроцилиндра подвески (МПа)

$S$  – площадь поршня в гидроцилиндре, которая рассчитывается по формуле (8):

$$S = \pi \frac{D^2}{4}, \quad (8)$$

где  $D$  – диаметр плунжера гидроцилиндра подвески (мм).

Преобразовав формулу (7), получим, что диаметр плунжера гидроцилиндра подвески можно рассчитать по формуле (9):

$$D = \sqrt{\frac{4 \times T}{\pi \times q}}. \quad (9)$$

С учетом конструкции механизма подвески диаметр плунжера гидроцилиндра должен быть округлен в большую сторону до ближайшего целого числа.

Рабочее давление гидроцилиндра при полной загрузке рассчитывается по формуле (10):

$$q = \frac{4 \times T}{\pi \times D^2}. \quad (10)$$

При расчете давления гидравлической системы также необходимо учесть потери ( $w$ ), которые возникают при ее эксплуатации. Поэтому расчетное давление гидравлической системы можно определить по формуле (11):

$$Q = q + w. \quad (11)$$

### Заключение

В данной статье были рассмотрены пример модуля СМТС и его гидравлической подвески; показаны основные схемы построения СМТС; описаны сферы применения модульных транспортеров и их функции; также представлены методики расчета усилия, действующего в гидроцилиндре, и давления гидравлической системы подъема самоходных модульных транспортных средств.

## Список литературы

1. Галерея продукции компании «Cometto» [Электронный ресурс]: официальный сайт компании «Cometto». URL: <https://www.cometto.com/> (дата обращения: 24.10.2023).
  2. Лавриков А.А и др. Управление движением рассредоточенного самоходного модульного транспортера // Проблемы машиностроения и надежности машин, 2019, № 1, стр. 26-33.
  3. Варламов Л.А., Пузров М.А. Анализ существующих схем подвесок самоходных модульных транспортных средств с электронным управлением поворотом осей (серии «MSPE») компании «Cometto». Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. 2023; 1(1): 53 - 64.
  4. Раздел «Достижения» ГК «Спецтяжавтотранс» [Электронный ресурс]: официальный сайт ГК «Спецтяжавтотранс». URL: <https://statgk.ru/achievements/> (дата обращения: 25.10.2023).
  5. Маркеев А.П. Теоретическая механика: Учебник для университетов. - М.: ЧеРо, 1999, 572 с.
- 

## АВТОР

**Пузров Михаил Александрович**, аспирант кафедры «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5), [puzrovma@student.bmstu.ru](mailto:puzrovma@student.bmstu.ru)

# Machines & Plants Design & Exploiting

*Electronic journal  
International Public Organization  
"Integration strategy"  
<http://maplants-journal.ru>*

//Machines and Plants:Design and Exploiting.  
2024. № 2. pp. 13 – 20.

DOI:

Received: 10.10.2024

Accepted for publication: 11.10.2024

© Interntional Public Organization "Integration  
strategy"

## The method of calculating the force acting in the hydraulic cylinder and the pressure in the hydraulic lifting system of self-propelled modular vehicles

Mikhail A. Puzrov

[puzrovma@student.bmstu.ru](mailto:puzrovma@student.bmstu.ru)

Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russian Federation

This article discusses the suspension design of a self-propelled modular vehicle (SMS) and the method of calculating the force acting in the hydraulic cylinder of this suspension, as well as calculating the pressure in the hydraulic system of a modular conveyor.

The relevance of this article is due to the fact that the issues of research into the functioning of the SMS suspension have not been sufficiently studied at the present time. There are no methods for calculating the SMS suspension, which can lead to suboptimality of the suspension design and, as a result, to a decrease in its reliability, an increase in its weight and test volumes.

In the introduction, an example of the CMTS module and its hydraulic suspension is considered; the main schemes for constructing the STS are shown; the scope of application of modular conveyors and their functions are described. The main part of the article presents methods for calculating the force acting in a hydraulic cylinder and the pressure of the hydraulic lifting system of self-propelled modular vehicles.

**Keywords:** Modular conveyor, self-propelled vehicle, hydraulic suspension, hydraulic system pressure.

### References

1. Gallery of Cometto products [Electronic resource]: official website of Cometto company. URL: <https://www.cometto.com> / (date of reference: 10/24/2023).
2. Lavrikov A.A. et al. Motion control of a dispersed self-propelled modular conveyor // Problems of mechanical engineering and machine reliability, 2019, No. 1, pp. 26-33.
3. Varlamov L.A., Puzrov M.A. Analysis of existing suspension schemes of self-propelled modular vehicles with electronic axis rotation control (MSPE series) of Cometto company. Machines and installations: design, development and operation. 2023; 1(1): 53 - 64.
4. The section "Achievements" of the Group of Companies "Spetstyazhavytotrans" [Electronic resource]: the official website of the Group of Companies "Spetstyazhavytotrans". URL: <https://statgk.ru/achievements> / (date of reference: 10/25/2023).
5. Markeev A.P. Theoretical mechanics: Textbook for universities. - M.: Chero, 1999, 572 p.

### AUTHOR

**Mikhail A. Puzrov**, postgraduate student of the Department of Lifting and Transport Systems at Bauman Moscow State Technical University, (105005, Moscow, 2nd Bauman str., 5), [puzrovma@student.bmstu.ru](mailto:puzrovma@student.bmstu.ru)

# Машины и Установки проектирование, разработка и эксплуатация

Сетевое издание  
МОО "Стратегия объединения"  
<http://maplants-journal.ru>

Ссылка на статью:

//Машины и установки: проектирование,  
разработка и эксплуатация.  
Электрон. журн. 2024. № 2. С. 21 – 28.

DOI:

Представлена в редакцию: 10.10.2024

Принята к публикации: 11.10.2024

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 621.8

## Опыт применения тяжеловозных модульных транспортёров и аспекты подготовки специалистов

Мидаков А.В.<sup>1\*</sup>  
Медведева Ю.Н.<sup>2</sup>

\* [midakov.aleksei@okb-om.ru](mailto:midakov.aleksei@okb-om.ru)

<sup>1</sup> ООО «ОКБ «Спецтяжпроект» (Москва,  
Россия)

<sup>2</sup> МГТУ им. Н. Э. Баумана (Москва, Россия)

---

В статье рассматриваются возможности и опыт применения самоходных модульных транспортёров для перевозки крупногабаритного тяжеловесного оборудования. На основе анализа и обобщения опыта выявлены типовые технологические операции. Для их выполнения требуются специалисты, имеющие не только общетехническую подготовку, но и обладающие специальными знаниями и навыками. Перечень таких компетенций разработан авторами и представлен в настоящей статье.

---

**Ключевые слова:** Модульный транспортёр, самоходное транспортное средство, крупногабаритное тяжеловесное оборудование, подготовка специалистов.

---

## Введение

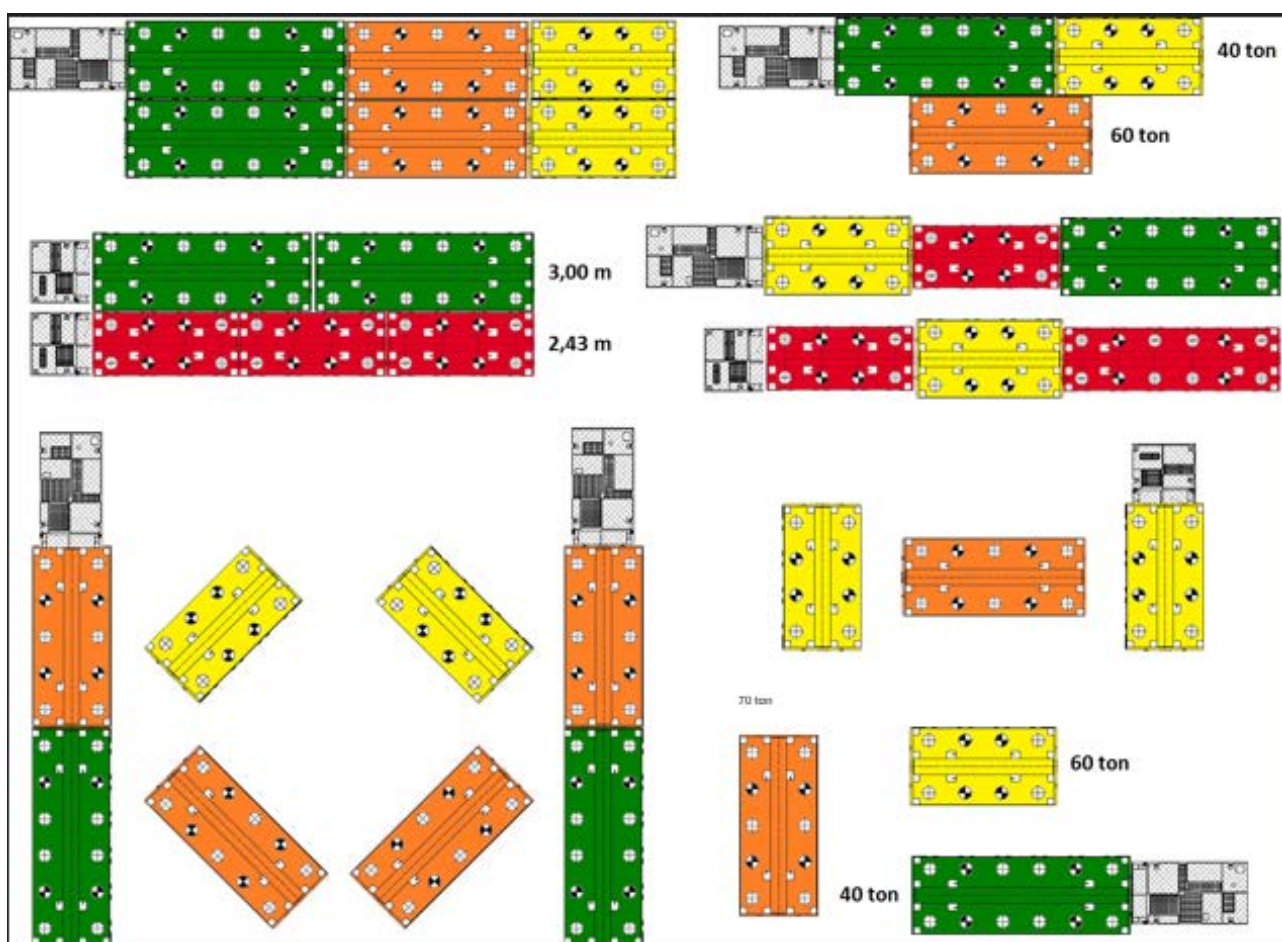
Строительство и модернизация современных химических, нефтегазоперерабатывающих, машиностроительных и электрогенерирующих предприятий осуществляется по технологии крупноблочной сборки производственных линий. Необходимым условием реализации этой технологии является перевозка многотонных негабаритных конструкций от места изготовления к месту строительства. При этом, в большинстве случаев, используются водные и наземные виды транспорта.

Для перевозки по сухопутным маршрутам применяются тяжеловозные модульные транспортёры, которые представляют собой прицеп-платформу с гидравлическим приводом. Заложенный в их конструкцию принцип модульности позволяет наилучшим образом конфигурировать технику для учета особенностей того или иного груза. Модули могут стыковаться друг с другом как в продольном, так в поперечном направлениях, образуя необходимую платформу для размещения груза и обеспечивая допустимую нагрузку на дорожное полотно.

На рисунке 1 показаны варианты различных сборок модульных транспортеров. Для перевозки длинномерных грузов можно собрать транспортное средство из нескольких модулей в одну линию. Для перевозки грузов большой ширины в две линии, используя соединительные блоки. Допустимо использование нескольких модулей на расстоянии, как продольно, так и поперечно. Управление осуществляется с пульта оператором.

Современные самоходные модульные транспортеры обладают следующими техническими характеристиками [1, 2]:

- высокая грузоподъемность. До 70 т на осевую линию;
- изменение клиренса за счет хода подвески  $\pm 300$  мм. Позволяет устанавливать и снимать груз с опоры без использования кранов;
- большое количество комбинаций сборки;
- высокая плавность хода;
- равномерное распределение нагрузки на дорожную поверхность;
- высокая маневренность и точность позиционирования, благодаря углу поворота подвесок (колесных пар)  $+135/-135^\circ$  и электронной системе рулевого управления;
- синхронизация движения, благодаря системе дистанционного управления.



**Рис. 1.** Варианты различных сборок тяжеловозных модульных транспортеров



## Основная часть

Благодаря широким техническим возможностям тяжеловозные модульные транспортеры применяются для перевозки электротрансформаторов, турбин и генераторов, химических и нефтегазохимических технологических колонн, корпусов атомных реакторов, строительной техники, морских и речных судов, буровых установок, мостовых конструкций и другого крупногабаритного тяжеловесного оборудования.

Примером использования самоходных модульных является уникальная перевозка оборудования общим весом 3000 т для АО «Ачинский НПЗ ВНК». Маршрут пролегал по Северному морскому пути, далее по реке Енисей до поселка Кубеково Красноярского края и еще - 203 км по автодорогам до строительной площадки. Этим путем были доставлены 4 реактора гидрокрекинга. Масса самого тяжелого из них составляла 1306 т, длина 36 м и высота 7 м. Транспортировка такого груза самоходными модулями на расстояние свыше 200 км по дорогам общего пользования в мировой истории тяжелых перевозок была выполнена впервые. На рисунке 2 показан эпизод рекордной перевозки.



**Рис. 2.** Перевозка на самоходном модульном транспортере реактора гидрокрекинга весом 1306 т на расстояние 203 км из поселка Кубеково в город Ачинск Красноярского края для АО «Ачинский НПЗ ВНК» (2013 г)

В целом, работы по доставке грузов для АО «Ачинский НПЗ ВНК» продолжались более двух месяцев. Колонна двигалась в дневное и ночное время со средней скоростью 1,5 км/ч. На своем пути автопоезд пересек 16 рек по специально построенным мостовым переходам. На одном из участков федеральной трассы М53, чтобы обеспечить проезд автопоезда, пришлось на 2 метра поднять низкий пешеходный мост длиной 39 м. Проезд под мостом показан на рисунке 3. По окончании работ, мостовой переход с точностью до миллиметра был установлен на прежнее место.



**Рис. 3.** Проезд под пешеходным мостом длиной 39 м, поднятом на высоту 2 м. После проезда мост установлен на место с точностью до миллиметра [4]

Применение модульных транспортеров позволяет решать уникальные технические задачи при выполнении работ. Наглядным примером является доставка оборудования на ОАО «Сургутнефтегаз» (ООО «КИНЕФ»). При проведении строительных работ возникла необходимость провоза негабаритного груза в стесненных условиях при наличии ограничений по верхнему габариту. Решение этой задачи стало возможным благодаря использованию транспортных модулей на расстоянии друг от друга. Была разработана специальная система для транспортировки грузов в «провисе», состоящая из двух опорных консолей, установленных на поворотных кругах, смонтированных на транспортных модулях, как показано на рисунке 4.



**Рис. 4.** Применение транспортных модулей для перевозки грузов в «провисе»



Такое решение позволило осуществить доставку оборудования, обеспечивая минимальную высоту автопоезда. Система использована для прохода без их реконструкции. Система для транспортировки грузов в «провисе» позволила осуществить доставку оборудования на завод, не останавливая производство. В результате была получена существенная экономия средств. Проезд автопоезда под эстакадой высотой 4,5 м показан на рисунке 5.



**Рис. 5.** Транспортировка негабаритного груза в «провисе» под эстакадами технологических трубопроводов без остановки производства нагрузки

Технические возможности модульных транспортеров [3] позволяют загружать и разгружать баржи с крупногабаритным тяжеловесным грузом методом Ро-Ро (от английского roll-on/roll-off — «вкатывай-выкатывай») без применения кранового оборудования. Методом Ро-Ро можно легко загрузить крупные агрегаты весом в тысячи тонн, переместить их водным путем в любую точку мира, где таким же способом выгрузить. Фрагмент выгрузки оборудования методом Ро-Ро показан на рисунке 6.



**Рис. 6.** Выгрузка негабаритного оборудования методом Ро-Ро при помощи тяжеловесных модульных транспортеров

Для практического применения метода Ро-Ро была разработана специальная система ступенчатого подъема, которая обеспечивает синхронный вертикальный подъем тяжелого объекта на высоту, достаточную для заезда под него транспортера при минимальном клиренсе. После позиционирования под объектом грузовая площадка транспортера поднимается при помощи гидравлической подвески и снимает объект с опоры. Система позволяет поднимать груз на требуемую высоту с дискретностью 200 мм и фиксировать его в поднятом положении на длительное время.

На рисунке 7 показана колонна массой 492 т, поднятая с палубы на высоту 1400 мм, при помощи системы ступенчатого подъема.

На рисунке 8 показан выезд с баржи груженого самоходного модульного транспортера, состоящего из двух разнесенных модулей.



**Рис. 7.** Применение системы ступенчатого подъема



**Рис. 8.** Выгрузка методом Ро-Ро при опирании силового элемента баржи на причальное сооружение

Следует обратить внимание на уникальную технологическую особенность, реализованную при выгрузке оборудования, показанной на рисунке 8. Силовой элемент баржи опирался на причальное сооружение, а горизонтальное положение палубы при выезде модулей транспортера регулировалось путем управления уровнем воды в балластных отсеках.

## Заключение

Приведенные примеры показывают, что для транспортировки крупногабаритного тяжеловесного оборудования требуется широкий спектр знаний и навыков.

Помимо общих и специальных знаний, при подготовке специалистов необходимо уделить внимание изучению современной техники и оборудования, а также передовых технических решений.

Специалисты должны иметь навыки разработки транспортной оснастки. От простых опор, до сложных систем, выполняющих конкретные задачи. Например, рассмотренные ранее системы для транспортировки «в подвесе» или ступенчатого подъема.

Специалист должен уметь применять теоретические знания при решении практических задач. Для этого при прохождении учебной практики на предприятиях необходимо привлекать студентов к решению реальных производственных заданий.

Также в процессе подготовки специалистов необходимо рассматривать особенности применения тяжеловозных модульных транспортеров совместно с другими видами транспорта. Например, случае с водным транспортом - это выгрузка методом Ро-Ро, в случае с железнодорожным транспортом - это перегрузка на автотранспорт с применением кранов.

Предложенные аспекты обучения будущих специалистов были доложены участникам Круглого стола (04 апреля 2024 г., ЦВК «Экспоцентр») по вопросам подготовки кадров по специальности «Подъемно-транспортные, строительные и дорожные машины».

---

## Список литературы

1. 14.187/A. Cometto MSPE EVO2. Самоходный модульный транспортер. Конфигурации. – COMETTO INDUSTRIE. – 2014. – 30 с.
2. 07.097. Cometto MSPE EVO2. Самоходный модульный транспортер. Руководство по электронной системе. – COMETTO INDUSTRIE. – 2011. – 141 с.
3. Варламов Л.А., Пузров М.А. Анализ существующих схем подвесок самоходных модульных транспортных средств с электронным управлением поворотом осей (серии «MSPE») компании «Cometto» //Машины и установки: проектирование, разработка и эксплуатация. МОО «Стратегия объединения». Электрон. журн. – 2023. – № 01. – С. 1 – 12.

---

## АВТОРЫ

**Мидаков Алексей Вадимович**, инженер-конструктор ООО «ОКБ «Спецтяжпроект» (111020, Москва, 2-я Синичкина ул., дом 9А, корпус 7, 6-й этаж) [midakov.aleksei@okb-om.ru](mailto:midakov.aleksei@okb-om.ru)

**Медведева Юлия Николаевна**, ассистент кафедры РК-4 «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5) [uliya@bmstu.ru](mailto:uliya@bmstu.ru)



# Machines & Plants Design & Exploiting

*Electronic journal  
International Public Organization  
"Integration strategy"  
<http://maplants-journal.ru>*

//Machines and Plants:Design and Exploiting.  
2024. № 2. pp. 21 – 28.

DOI:

Received: 10.10.2024

Accepted for publication: 11.10.2024

© Interntional Public Organization "Integration  
strategy"

## Experience in the use of heavy-duty modular conveyors and aspects of training specialists

Alexey V. Midakov<sup>1\*</sup>  
Yulia N. Medvedeva<sup>2</sup>

\* [midakov.aleksei@okb-om.ru](mailto:midakov.aleksei@okb-om.ru)

<sup>1</sup> OKB "Spetstyazhproekt" LLC (Moscow,  
Russia)

<sup>2</sup> Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russian Federation

---

The article discusses the possibilities and experience of using self-propelled modular conveyors for the transportation of large-sized heavy equipment. Based on the analysis and generalization of experience, typical technological operations have been identified. Their implementation requires specialists who have not only general technical training, but also have special knowledge and skills. The list of such competencies has been developed by the authors and is presented in this article.

---

**Keywords:** Modular conveyor, self-propelled vehicle, large-sized heavy equipment, training of specialists.

---

### References

1. 14.187/A. Cometto MSPE EVO2. Self-propelled modular conveyor. Configurations. – COMETTO INDUSTRIE. – 2014. – 30 p.
  2. 07.097. Cometto MSPE EVO2. Self-propelled modular conveyor. Electronic System Manual. – COMETTO INDUSTRIE. – 2011. – 141 p.
  3. Varlamov L.A., Puzrov M.A. Analysis of existing suspension schemes for self-propelled modular vehicles with electronic axis rotation control (MSPE series) of Cometto company //Machines and installations: design, development and operation. The NGO "Unification Strategy". The electron. Journal. – 2023. – No. 01. – pp. 1-12.p.
- 

### AUTHORS

**Alexey V. Midakov**, Design engineer, LLC "OKB "Spetstyazhproekt" (111020, Moscow, 2nd Sinichkina str., building 9A, building 7, 6th etpage) [midakov.aleksei@okb-om.ru](mailto:midakov.aleksei@okb-om.ru)

**Yulia N. Medvedeva**, Assistant of the Department of RK-4 "Lifting and Transport Systems" of Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, 2nd Bauman str., 5) [uliya@bmstu.ru](mailto:uliya@bmstu.ru)

# Машины и Установки проектирование, разработка и эксплуатация

Сетевое издание  
МОО «Стратегия объединения»  
<http://maplants-journal.ru>

Ссылка на статью:

//Машины и установки: проектирование,  
разработка и эксплуатация.

МОО «Стратегия объединения»

Электрон. журн. 2024. № 2. С. 29 – 33.

DOI:

Представлена в редакцию: 09.10.2024

Принята к публикации: 12.10.2024

© МОО «Стратегия объединения»

УДК 621-1

## Оценка тепловой напряжённости конструкции турбопоршневого двигателя<sup>1</sup>

Козлов С.И.

Москва, Россия

В работе обоснован новый подход к оценке тепловой напряженности деталей цилиндропоршневой группы турбопоршневого двигателя. В качестве критерия предложено использовать среднюю температуру цикла, вычисляемую как среднеарифметическое значение средних температур рабочего тела в характерных процессах действительного цикла двигателя. Такой критерий дает наиболее полное и наглядное представление о тепловой напряженности. Экспериментальные данные подтверждают правильность подхода и выбор критерия.

**Ключевые слова:** турбопоршневой двигатель, цилиндропоршневая группа, теплонапряженность.

При проектировании высокофорсированных быстроходных двигателей важное практическое значение приобретают вопросы тепловой напряженности деталей цилиндропоршневой группы двигателя и узлов турбины системы воздухообеспечения. О тепловой нагруженности турбины первое представление можно получить на основании данных о температуре выпускных газов дизеля. Что же касается тепловой напряженности деталей двигателя, то знание одной лишь температуры выпускных газов не позволяет достаточно правильно оценить тепловую напряженность двигателя в связи с тем, что значение этой температуры не характеризует еще истинных тепловых нагрузок в двигателе. Например, в 2-тактном двигателе температура газа на выпуске значительно меньше, чем в 4-тактном, между тем как тепловая нагруженность 2-тактного двигателя, как известно, гораздо выше, чем 4-тактного.

К настоящему времени существуют различные критерии оценки тепловой напряженности деталей двигателя [1]. Довольно широкое распространение получил критерий Л.К. Костина [2], учитывающий уровень форсирования дизеля по  $P_e$  :

<sup>1</sup> Перепечатка раздела монографии «Рабочие процессы высокофорсированных транспортных турбопоршневых двигателей / С.И. Козлов. – М.: Газпром ВНИИГАЗ, 219. – 388 с. – (Золотой фонд нефтегазовой науки).



$$K_T = b \cdot c_{\pi}^{0,38} \cdot \left( \frac{D}{\eta_v \cdot P_K} \right)^{0,38} \cdot \left( P_e \cdot g_e \cdot \frac{T_K}{T_0} \right)^{0,88} . \quad (1)$$

Существенным недостатком критерия А.К.Костина является то, что он совершенно не учитывает влияние на тепловую напряженность двигателя температуры поступающего в цилиндры воздуха, хотя формально структура формулы этого критерия и содержит параметр  $T_K$ . Подставляя в формулу (1) значение  $P_e$  по известному соотношению

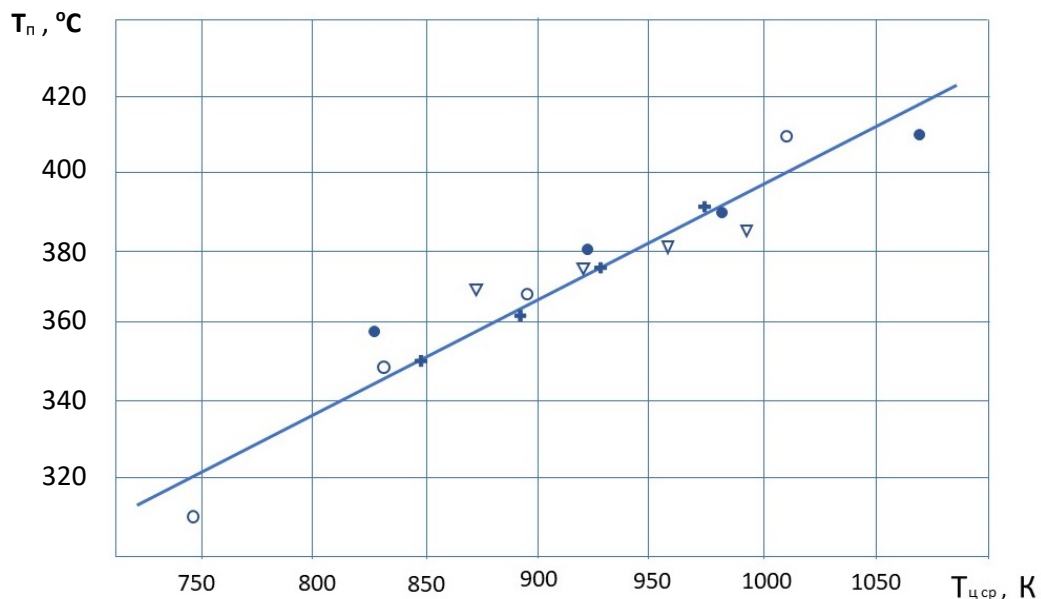
$$P_e = const_1 \cdot \frac{\gamma_k \eta_v \eta_e}{\alpha} \quad (2)$$

и имея в виду, что  $\gamma_k = \frac{P_k}{RT_k}$ , а  $\eta_e = \frac{3,59}{H_{уге}}$ , получим для критерия  $K_T$  следующую расчетную формулу:

$$K_T = const_2 \cdot C_{\pi}^{0,5} \cdot D^{0,38} \frac{(P_k \eta_v)^{0,5}}{\alpha^{0,88}} , \quad (3)$$

т.е. значение предлагаемого в работе [2] критерия тепловой напряженности  $K_T$  фактически не зависит от температуры поступающего в двигатель воздуха. Однако известно, что охлаждение наддувочного воздуха (уменьшение  $T_K$ ) является эффективным средством снижения тепловой напряженности двигателя.

Представление о тепловой напряженности будет более полным и наглядным, если в качестве критерия использовать среднюю температуру цикла  $T_{цср}$  - условный параметр, вычисляемый как среднеарифметическое значение средних температур рабочего тела в характерных процессах действительного цикла двигателя. Экспериментальные данные [3] подтверждают, что максимальная температура днища поршня  $T_{\pi}$  является однозначной функцией  $T_{цср}$ , независимо от того с какими  $P_K$ ,  $T_K$ ,  $\alpha$  и  $P_e$  работает двигатель (рис. 1).



**Рис. 1.** Зависимость максимальной температуры днища поршня  $T_{\pi}$  от средней температуры цикла  $T_{цср}$ : ○ -  $g_{ц} = var$ ; + -  $P_K = var$ ; ● -  $T_K = var$  ( $P_K = const$ ); ▽ -  $T_K = var$  ( $\gamma_k = const$ ).

Используя известные соотношения для температур в конце сжатия и сгорания

$$T_c = T_k \cdot \varepsilon^{n_1-1}; T_z = \frac{H_u \cdot \psi}{c_{p_r} \cdot \alpha \cdot l_0} + \left[ 1 + \frac{k-1}{k} \cdot (\lambda - 1) \right], \quad (4)$$

получим следующую формулу для средней температуры цикла

$$T_{цсп} = \frac{1}{z} \left\{ T_k \left( \frac{z-1}{2} + \varepsilon^{n_1-1} \left[ 1 + \frac{k-1}{2k} (\lambda - 1) \right] \right) + \frac{A_z}{z} + T_p \frac{z-1}{2} \right\}, \quad (5)$$

где  $n_1 = 1,5 \frac{n}{n+178}$  - показатель политропы сжатия;

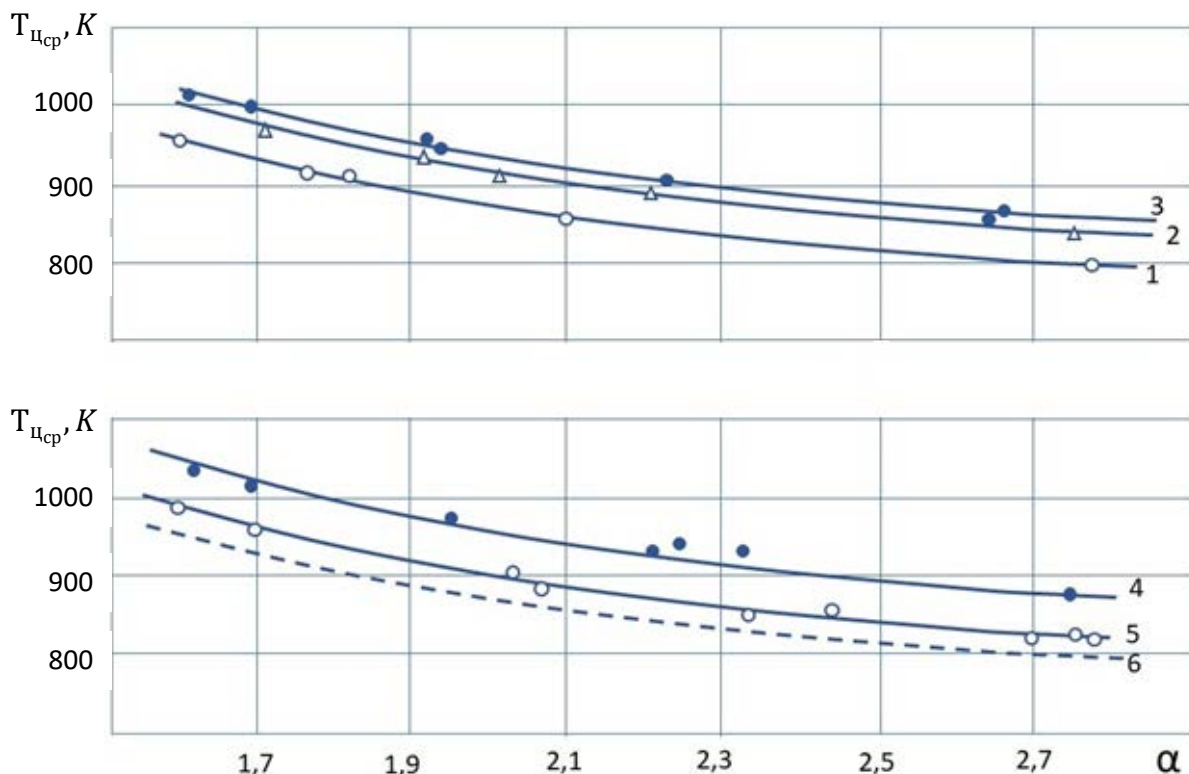
$n$  - частота вращения вала дизеля;

$A_z = \frac{H_u \psi}{2C_{p_r} l_0}$  - постоянная, равная 1170 К при  $H_u = 42,6 \text{ МДж}$ ,  $\psi = 0,9$ ,  $C_{p_r} = 1,13 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ .

Обобщение экспериментальных данных [37]  $T_{\Pi} = f(T_{цсп})$  дало следующую связь

$$\bar{T}_{\Pi} = \bar{T}_{цсп}^{0,716}. \quad (6)$$

С увеличением давления наддува  $T_{цсп}$  возрастает, следовательно, повышается и температура деталей цилиндропоршневой группы, но увеличение не очень сильное: при  $\alpha = 1,7 \div 1,8$ , характерных для режима  $N_{e_{max}}$  современных транспортных ТПД, повышение  $P_k$  с 0,24 МПа до 0,7 МПа увеличивает  $T_{цсп}$  на  $65 \div 70$  К (с  $925 \div 905$  К до  $990 \div 975$  К, рис. 2). Вследствие этого максимальная температура днища поршня увеличивается примерно на  $20 \div 22$  К.



**Рис. 2.** Зависимости средней температуры цикла 4-тактного дизеля от коэффициента избытка воздуха и параметров наддувочного воздуха:

- 1 -  $P_k = 0,236$  МПа; 2 -  $P_k = 0,589$  МПа; 3 -  $P_k = 0,707$  МПа;
- 4 -  $T_k = 463$  К,  $P_k = 0,589$  МПа; 5 -  $T_k = 413$  К,  $P_k = 0,589$  МПа;
- 6 -  $T_k = 383$  К,  $P_k = 0,589$  МПа (расчёт).

Охлаждением наддувочного воздуха можно приблизить  $T_{цср}$  двигателей с высоким наддувом к уровню, освоенному в транспортном двигателестроении температур. Например, у опытного двигателя, работавшего с  $P_k=0,6$  МПа уменьшение  $T_k$  с 463 К до 413 К снизило  $T_{цср}$  на 50 К в диапазоне  $\alpha = 1,7 \div 1,8$ . Дальнейшее охлаждение наддувочного воздуха до  $T_k=383$  К приблизило  $T_{цср}$  двигателя с высоким наддувом к освоенным в настоящее время значениям (штриховая линия на рис. 2.).

Средняя температура цикла, характеризующая тепловую напряженность деталей цилиндропоршневой группы, в частности поршня, с увеличением наддува возрастает, однако это увеличение не существенно. Так, при коэффициентах избытка воздуха  $\alpha = 1,7 \div 1,8$ , характерных для номинальных режимов современных дизелей, повышение  $P_k$  с 0,24 МПа до 0,7 МПа увеличивает  $T_{цср}$  на  $65 \div 70$  К. Такое повышение  $T_{цср}$  (см. рис. 2.) увеличивает максимальную температуру поршня примерно на  $20 \div 22$  К.

Охлаждая наддувочный воздух, можно приблизить значения средней температуры цикла (следовательно, температуры деталей двигателя с высоким наддувом) к уровню температур деталей двигателя с умеренным наддувом. Например, для опытного двигателя, работавшего с  $P_k=0,6$  МПа, уменьшение температуры наддувочного воздуха с 463 К до 413 К приводило к снижению средней температуры цикла (в диапазоне  $\alpha = 1,7-1,8$ ) на 50 К. Дальнейшим охлаждением наддувочного воздуха до 383 К приблизим значения средней температуры цикла двигателя с высоким наддувом к значениям  $T_{цср}$  двигателя с умеренным наддувом.

Таким образом, кроме снижения степени сжатия к числу основных условий осуществления рабочего процесса в двигателе с высоким наддувом относится охлаждение наддувочного воздуха для того, чтобы сохранить на приемлемом уровне тепловую напряженность деталей двигателя.

Очевидно, что все выясненные выше особенности протекания рабочего процесса в дизеле при высоких  $P_k$  необходимо учитывать при разработке математических моделей, применяемых на начальных стадиях проектирования высокофорсированных транспортных ТПД.

---

## Список литературы

1. Романов Г.И., Погодин С.И. Новый метод оценки тепловой напряженности двигателей.- Двигателестроение, 1980, № 11 с.18-23.
  2. Дьяченко И.Х., Костин А.К., Бурин М.М. Теплообмен в двигателях и теплонапряженность их деталей.-Л.:Машиностроение,1969.
  3. Семенов Б.Н., Кудрявцев В.А., Берман А.А. Анализ тепловых и механических потерь серийных дизелей: Тр. ЦНИДИ, Совершенствование и создание форсированных двигателей, 1982.
- 

## АВТОР

**Козлов Сергей Иванович** (30.09.1949 – 14.07.2021), доктор технических наук, лауреат Премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники.

## Evaluation of the thermal stress of the turbo piston engine design<sup>2</sup>

Sergey I. Kozlov

Moscow, Russian Federation

The article substantiates a new approach to the assessment of the thermal stress of the parts of the cylinder piston group of a turbo piston engine. As a criterion, it is proposed to use the average cycle temperature, calculated as the arithmetic mean of the average temperatures of the working fluid in the characteristic processes of the actual engine cycle. Such a criterion provides the most complete and visual representation of thermal tension. Experimental data confirm the correctness of the approach and the choice of criteria.

**Keywords:** turbo piston engine, cylinder piston group, thermal stress.

### References

1. Romanov G.I., Pogodin S.I. A new method for estimating the thermal stress of engines.- Engine Building, 1980, No. 11 pp.18-23.
2. Dyachenko I.H., Kostin A.K., Burkin M.M. Heat transfer in engines and thermal stress of their parts.-L.:Mechanical Engineering, 1969.
3. Semenov B.N., Kudryavtsev V.A., Berman A.A. Analysis of thermal and mechanical losses of serial Diesels: Tr. TSNIDI, Improvement and creation of forced engines, 1982.

### AUTHOR

**Sergey I. Kozlov** (30.09.1949 – 07/14/2021), Doctor of Technical Sciences, laureate of the Prize of the Government of the Russian Federation in the field of science and technology.

<sup>2</sup> Reprint of the section of the monograph "Working processes of high-powered transport turbopump engines / S.I. Kozlov. – M.: Gazprom VNIIGAZ, 219. – 388 p. - (Golden Fund of Oil and Gas Science).

УДК 338.001.36

## Методический подход к определению некредитного рейтинга предприятий промышленности и бизнеса

Тропин С. Л.<sup>1</sup>,  
Тропина И. А.<sup>2</sup>,  
Шашуков В. Н.<sup>2\*</sup>

\* [shasvn@yandex.ru](mailto:shasvn@yandex.ru)

<sup>1</sup> МГТУ им. Н. Э. Баумана (Москва, Россия)

<sup>2</sup> МОО «Стратегия объединения» (Москва, Россия)

В статье представлен методический подход к составлению некредитного рейтинга предприятий промышленности и бизнеса. Данный подход ориентирован на целевую группу, в которую входят потребители товаров, работ и услуг. Основу методического подхода составляет эвристический метод системного анализа, позволивший выявить необходимые базовые свойства предприятий. Комплексированием базовых свойств получен показатель, числовые значения которого используются для составления рейтинга. Декомпозицией базовых свойств найдена локальная совокупность частных свойств, образующих иерархическую структуру. Наличие такой структуры позволяет использовать для практических расчетов линейную математическую модель. Аргументами модели являются показатели свойств, значения которых определяются на основе исходных данных. Значимость показателей устанавливают весовые коэффициенты, которые определяются однократно методом экспертного опроса. Однократное привлечение экспертов позволяет минимизировать влияние субъективного фактора и перевести это влияние из разряда случайного в разряд систематического, что довольно легко поддается учету. Основные положения статьи были апробированы при составлении рейтинга перевозчиков крупнотоннажного негабаритного оборудования «1000 тонн», при разработке национального стандарта ГОСТ Р 66.9.03 - 2016 «Оценка опыта и деловой репутации организаций, выполняющих перевозки крупногабаритных тяжеловесных грузов», а также при проведении конкурса «5 звезд. Лидеры химической отрасли».

**Ключевые слова:** рейтинг, комплексная оценка, системный анализ, базовые свойства.



*«Было бы полезно» учредить Евразийское рейтинговое агентство, которое «обеспечило бы наличие адекватного оценочного инструментария для обслуживания растущей экономической активности на территории ЕвразЭС.»*

Президент России Владимир Путин, май 2023 года<sup>1</sup>

*«Рейтинг станет драйвером глобального развития евразийского региона, где учтены основные факторы как экономического, так и цивилизационного порядка»*

Генеральный директор АО «ЕРА», Генеральный секретарь Ассамблеи народов Евразии Андрей Бельянинов<sup>1</sup>

## Введение

В современном мире высокий рейтинг рассматривается как одно из важнейших конкурентных преимуществ и как основание для доверия при выстраивании партнерских отношений. Рейтинг представляет собой концентрированное отображение оценок по множественным критериям, что позволяет комплексно оценить объекты и расположить их по порядку – от лучшего к худшему.

Рейтинги бывают кредитными и некредитными.

Кредитные рейтинги оценивают платежеспособность эмитента долговых обязательств. На сегодня наиболее распространены три версии кредитных рейтингов, составляемых международными агентствами Standard & Poor's; Moody's Agency; Fitch Agency. Каждое из агентств формирует рейтинги по собственной шкале и методике [1].

Среди некредитных рейтингов наиболее известен рейтинг устойчивого развития, или ESG-рейтинг, пример которого представлен в работе [2]. ESG-рейтинг это оценка в разрезе экологических, социальных характеристик, а также корпоративного управления предприятием (организацией).

Концепция любого рейтинга тесно связана с целевой группой, на которую ориентирован рейтинг.

Основными потребителями кредитных рейтингов являются инвесторы, ESG-рейтингов - предприятия промышленности и общественные организации.

Кредитный рейтинг позволяет инвесторам увидеть, какое положение занимает избираемый ими объект по отношению к другим участникам рынка и соразмерить финансирование с возможными рисками.

ESG-рейтинг важен для предприятий как инструмент повышения репутационного веса в общественном мнении и укрепления за счет этого фактора своих рыночных позиций.

Как видим, ни кредитный, ни ESG-рейтинг не ориентированы на целевую группу потребителей продукции, работ или услуг. Оба рейтинга оказывают лишь косвенное содействие потребителям в выборе поставщика. Вместе с тем, именно потребители приводят в действие механизм рыночных отношений.

Поэтому, составление некредитного рейтинга, ориентированного на потребителей результатов деятельности предприятий промышленности или бизнеса (далее – предприятие), является актуальной научной задачей. Методический подход к решению данной задачи излагается в настоящей статье.

---

<sup>1</sup> Евразийское рейтинговое агентство начало работу. МОСКВА, 28 мая 2023 г. /ТАСС/ [Электронный ресурс]: официальный сайт ТАСС. URL: <https://tass.ru/ekonomika/20929703>.

## Основная часть

Такая оценка может быть получена на основе представления о предприятии как о сложной системе, функционирование которой является проявлением ее специфических особенностей, то есть свойств [3].

Разнообразие представлений экспертов о совокупности свойств, необходимых для комплексной оценки предприятий, затрудняет сопоставимость конкурирующих предприятий даже в границах одной бизнес-ниши. Эксперты расходятся во мнениях из-за субъективности суждений, а результаты опросов зависят к тому же от территориальной, социальной, государственной или иной принадлежности.

Чтобы минимизировать субъективный фактор и найти стабильную совокупность свойств, которые необходимы для комплексной оценки предприятия, в настоящей работе применен эвристический метод системного анализа, основанный на принципе восполняющих свойств<sup>2</sup>.

Сущность данного принципа заключается в том, что свойства сложной системы выстраиваются по порядку возникающей в них потребности, которая определяется логикой достижения установленной цели при взаимодействии с внешней средой. При этом потребность в каждом последующем свойстве обусловлена ограниченностью предыдущего.

Данный принцип был успешно применен при составлении рейтинга перевозчиков крупногабаритных тяжеловесных грузов и при исследовании деловой репутации [4 - 6].

Опираясь на принцип восполняющих свойств, можно логически выявить свойства предприятия, объективно необходимые для его комплексной оценки и составления рейтинга. Такие свойства далее будут именоваться базовыми.

Для выявления базовых свойств предприятия, как сказано выше, требуется установить цель, которая преследуется рейтингованием на основе комплексной оценки.

Для приобретателей – это получение информации, которая мотивирует к взаимодействию с потенциальным поставщиком. Для предприятия-поставщика – это заинтересовать и убедить потребителя приобретать продукцию, работы или услуги.

Какое же свойство должно в первую очередь интересовать и мотивировать приобретателя при поиске продукции или исполнителя работ или услуг, в которых он нуждается? Очевидно, приобретатель должен быть уверен, что изготовитель или исполнитель его не подведет, то есть будет способен выполнить взятые на себя договорные или объявленные обязательства при условии соблюдения требований законодательства, охраны труда и промышленной безопасности. Этому свойству подходит термин «надежность».

Но сколь бы честными не были намерения изготовителя (поставщика) продукции или исполнителя работ (услуг) быть надежным бизнес-партнером, каким бы горячим желанием выполнить в точности договорные обязательства не были бы преисполнены его сердце и душа, он объективно не сможет реализовать свои намерения, если не умеет это делать. То есть необходимо наличие у работников соответствующих знаний и навыков. Иными словами, нужна профессиональная компетентность как управленческого, так и инженерно-технического персонала. Это второе необходимое свойство.

Но, если знания и компетенции ни разу не были реализованы на практике, возникает высокий риск ошибочных действий. То есть нужно, чтобы исполнитель хотя бы раз, а лучше неоднократно, уже выполнял работы или оказывал услуги, иначе говоря, обладал определенным производственным опытом. Это еще одно необходимое свойство.

---

<sup>2</sup> Эвристический метод системного анализа на основе принципа восполняющих свойств разработан профессором кафедры «Управление проектами и программами» Российского экономического университета имени Г.В.Плеханова Стерником Г.М., и доктором технических наук профессором Брызговым В.Н.

Но, чтобы наработать производственный опыт, необходимо иметь заказы на результаты труда. Одним из условий получения заказа является соответствие продукции, работ или услуг потребностям и ожиданиям приобретателей. То есть высокое качество результатов деятельности. Это четвертое необходимое свойство.

Для обеспечения качества и поддержания его на должном уровне нужно иметь возможность привлекать и удерживать высоко квалифицированные кадры, заинтересовывать профильных специалистов работать именно на данном предприятии. Для этого должны быть созданы лучшие условия для труда и отдыха, проявлена забота о здоровье, духовном и материальном благополучии работников и членов их семей. То есть работодатель должен проявлять социальную ответственность за трудовой коллектив. Это пятое необходимое свойство.

Проявление социальной ответственности, своевременные отклики на социальные проблемы неразрывно связаны с получением, обработкой и предоставлением информации, взаимодействием с общественными и государственными органами, потенциальными приобретателями продукции, работ или услуг. Для этого должна быть обеспечена информационная открытость, готовность к диалогу, стремление к ясности и исключению любых «темных пятен». Это позволяет приобретателю заблаговременно сформировать позитивное представление о надежности, профессионализме, опыте и качестве результатов деятельности потенциального поставщика и в итоге получить мотивацию для приобретения товарной продукции, найма для выполнения работ или оказания услуг. Информационная открытость замыкает круг необходимых свойств, так как цель рейтинга: заинтересовать и мотивировать приобретателя, - достигнута.

Таким образом, выявлена стабильная совокупность из шести базовых свойств, которые объективно необходимы для комплексной оценки предприятия и составления рейтинга.

Графически эти базовые свойства представлены на рис. 1.



**Рис. 1.** Базовые свойства, присущие предприятиям и объективно необходимые для комплексной оценки в целях составления рейтинга.

Следует отметить ряд особенностей выявленных базовых свойств. Во-первых, базовые свойства инвариантны к масштабам предприятий и видам их деятельности, так как выявлены общесистемным методом, исходя из обобщенной цели. Во-вторых, они являются одноуровневыми, что вытекает из способа их получения. В-третьих, базовые свойства практически независимы по отношению друг к другу, поскольку они отделены четко выраженными смысловыми границами.

Первая особенность свидетельствует об универсальности результата проведенного исследования и возможности его широкого практического применения.

Вторая и третья особенности позволяют, применив методы декомпозиции и комплексирования, сформировать многоуровневую иерархическую структуру свойств предприятия, необходимую для учета всего многообразия влияющих факторов и повышения достоверности комплексной оценки.

Декомпозиция базовых свойств позволяет получить локальную совокупность частных свойств, дальнейшее дробление которых выводит на нижележащие уровни, вплоть до элементов, не поддающихся делению на части. Многоуровневость частных свойств обеспечивает адаптивность к виду деятельности предприятия, его организационной форме и другим особенностям. При этом, независимо от различий в частных свойствах, их свертка возвращает к базовому свойству, декомпозицией которого эти частные свойства были найдены.

Комплексирование базовых свойств приводит к единственному показателю, который обеспечивает необходимую оценку предприятий и позволяет составить рейтинг.

Пример многоуровневой иерархической структуры свойств предприятия показан на рисунке 2.



Рис. 2. Иерархическая структура свойств предприятия.

В этом примере показан результат декомпозиции каждого базового свойства до частных свойств первого нижележащего уровня.

«Надежность» зависит от безупречности исполнения принятых обязательств, финансовой состоятельности (устойчивости), выполнения требований охраны труда и промышленной безопасности.



«Профессиональная компетентность персонала» определяется образовательным уровнем менеджмента, специалистов, инженерно-технических работников, признанием их профессионализма уполномоченными органами (подтверждение квалификации), созданием условий для повышения квалификации и непрерывного образования.

«Производственный опыт» характеризуется спросом на результаты деятельности, то есть кратностью осуществления освоенных видов деятельности, продолжительностью пребывания на рынке товаров, работ и услуг, достигнутой эффективностью (рациональностью) производства.

«Качество результатов деятельности» складывается из соответствия требованиям нормативной и технической документации, соответствия требованиям заказчика, добровольной сертификацией производственных процессов, производимых товаров и оказываемых услуг.

«Социальная ответственность» подтверждается заботой о работниках и окружающей природе, откликом на социальные проблемы.

«Информационная открытость» характеризуется сведениями, которые предприятие желает сообщить о себе, доступностью и достоверностью этих данных (в частности через Интернет-сайт), эффективностью обратной связи с приобретателями продукции, работ или услуг, а также с общественностью, средствами массовой информации, государственными органами, национальными и международными организациями.

## **Заключение**

Выявленную структуру одноуровневых базовых свойств можно рассматривать как основу для составления объективного рейтинга, позволяющего корректно сопоставлять предприятия между собой в интересах приобретателей продукции, работ или услуг.

Важнейшим достоинством изложенного в статье методического подхода является его инвариантность по отношению к виду деятельности предприятий, что позволяет обеспечить единство рейтингования независимо от принадлежности предприятий к отраслям промышленности.

Еще одной особенностью является принципиальная возможность минимизировать влияние субъективных суждений экспертов на результат рейтингования и тем самым повысить его объективность. Эта возможность является следствием иерархической структуры свойств, которая позволяет использовать линейную математическую модель для свертки показателей свойств снизу доверху.

Аргументами модели являются показатели свойств, значения которых определяются на основе исходных данных. Значимость показателей устанавливают весовые коэффициенты, которые определяются однократно одним из методов экспертного опроса.

Автором работы [7] были проанализированы три метода экспертного опроса: метод анализа иерархий; метод ранжирования факторов по степени их важности; метод прямой расстановки оценок. По результатам анализа автор показал, что весовые коэффициенты, рассчитанные по итогам опроса экспертов разными методами высоко коррелированы между собой. Поэтому представляется целесообразным применять наиболее простой метод прямой расстановки, а усреднять коэффициенты путем расчета среднего арифметического.

Однократное привлечение экспертов позволит минимизировать влияние субъективного фактора и перевести это влияние из разряда случайного в разряд систематического, что довольно легко поддается учету.

Следует также отметить, что для оценки каждого частного свойства или характеристики также нет необходимости привлекать экспертов. Для получения численных



оценок могут быть найдены расчетные соотношения, использующие числовые данные о результатах деятельности предприятия.

Изложенные в настоящей статье положения и результаты были апробированы при составлении рейтинга перевозчиков крупнотоннажного негабаритного оборудования «1000 тонн» [4; 5], при разработке национального стандарта ГОСТ Р 66.9.03 - 2016 «Оценка опыта и деловой репутации субъектов предпринимательской деятельности. Национальная система стандартов. Оценка опыта и деловой репутации организаций, выполняющих перевозки крупногабаритных тяжеловесных грузов» [8; 9], а также при проведении конкурса «5 звезд. Лидеры химической отрасли» [10].

---

### Список литературы

1. Что такое рейтинг? [Электронный ресурс]: InvestProfit. Прозрачное инвестирование. Финансовый блог. URL: <https://investprofit.info/ranking-agency/>.
2. Методология присвоения ESG-рейтингов (некредитных рейтингов, оценивающих подверженность организаций экологическим и социальным рискам бизнеса, а также рискам корпоративного управления). Версия 5.0. Утверждена приказом генерального директора ООО «Национальное Рейтинговое Агенство от 14.12. 2023 № ПР/14-12/23-1. [Электронный ресурс]: официальный сайт ООО «НРА». URL: [www.ra-national.ru](http://www.ra-national.ru).
3. Мажажихов А.А., Мисхожев Э.Р. Теоретические вопросы исследования промышленных предприятий как сложных самоорганизующихся систем./ Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и Экологический менеджмент», № 2, 2023 – с. 3 - 9.
4. Кукушкин И.Г. Первый российский рейтинг в сфере логистики КТГ./ HeavyMagazine, № 2, 2017 – с. 62 – 63.
5. Кукушкин И.Г., Вдовенко З., Шашуков В.Н. Индекс лидерства. Рейтинг перевозчиков крупногабаритных грузов./ Журнал «ТехНАДЗОР», № 8 (129), 2017 – с. 32 - 34.
6. Кукушкин И.Г., Тропин С.Л., Шашуков В.Н. Репутация компании: достоинства и недостатки./ Журнал Стандарты и качество», № 11 (1001), 2020 – с. 24 - 28.
7. Коробов В.Б. Сравнительный анализ методов определения весовых коэффициентов «влияющих факторов»./ Журнал «Социология: методология, методы, математическое моделирование» (Социология:4М), № 20, 2005 – с. 54 - 73.
8. Кукушкин И.Г., Тропин С.Л. Направления развития нормативной базы перевозок крупногабаритных тяжеловесных грузов./ Журнал Стандарты и качество», № 9 (987), 2019 – с. 94 - 96.
9. Тропин С.Л. Современные стандарты перевозки крупнотоннажных негабаритных грузов./ Журнал «Дороги и транспорт», № 8, 2015 – с. 14 - 15.
10. Тропина И.А. Конкурс «5 звезд. Лидеры химической отрасли» - путь к устойчивому развитию./ Журнал «Химагрегаты», № 4(56), 2021– с. 40 - 43.

## АВТОРЫ

**Тропин Сергей Львович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой РК4 «Подъемно-транспортные системы» МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1 .

**Тропина Ирина Анатольевна**, кандидат экономических наук, Председатель Правления Межрегиональной общественной организации содействия развитию культуры, образования, спорта «Стратегия объединения», 111020, Москва, 2-я Синичкина улица, д. 9А, стр. 7.

**Шашуков Василий Николаевич**, кандидат технических наук, внештатный сотрудник Межрегиональной общественной организации содействия развитию культуры, образования, спорта «Стратегия объединения», 111020, Москва, 2-я Синичкина улица, д. 9А, стр. 7., [shasvn@yandex.ru](mailto:shasvn@yandex.ru)

# Machines & Plants Design & Exploiting

*Electronic journal*  
*International Public Organization*  
*"Integration strategy"*  
<http://maplants-journal.ru>

//Machines and Plants:Design and Exploiting.  
2024. № 2. pp. 34 – 43.

DOI:

Received: 11.10.2024

Accepted for publication: 13.10.2024

© International Public Organization "Integration  
strategy"

## Methodological approach to determining the rating of industrial and business enterprises

Tropin Sergey L.<sup>1</sup>,  
Tropina Irina A.<sup>2</sup>,  
Shashukov Vasily N.<sup>2\*</sup>

\* [shasvn@yandex.ru](mailto:shasvn@yandex.ru)

<sup>1</sup> Bauman Moscow State Technical University,  
Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Interregional Public Organization  
"Unification Strategy", Moscow, Russian  
Federation

---

The article presents a methodological approach to compiling a non-credit rating of industrial and business enterprises. This approach is focused on the target group, which includes consumers of goods, works and services. The basis of the methodological approach is the heuristic method of system analysis, which made it possible to identify the necessary basic properties of enterprises. By combining the basic properties, an indicator is obtained, the numerical values of which are used to compile the rating. By decomposition of the basic properties, a local set of particular properties forming a hierarchical structure is found. The presence of such a structure makes it possible to use a linear mathematical model for practical calculations. The arguments of the model are indicators of properties, the values of which are determined based on the source data. The significance of the indicators is determined by weighting coefficients, which are determined once by the method of an expert survey. The single involvement of experts makes it possible to minimize the influence of a subjective factor and transfer this influence from the category of accidental to the category of systematic, which is quite easy to account for. The main provisions of the article were tested when compiling the rating of carriers of large-capacity oversized equipment "1000 tons", when developing the national standard GOST R 66.9.03 - 2016 "Assessment of the experience and business reputation of organizations engaged in the transportation of bulky heavy goods", as well as during the competition "5 stars. Leaders of the chemical industry".

---

**Keywords:** rating, comprehensive assessment, system analysis, basic properties.

---

## References

1. What is a rating? [Electronic resource]: Invest Profit. Transparent investment. Financial blog. URL: <https://investprofit.info/ranking-agenty/>.
  2. Methodology for assigning ESG ratings (non-credit ratings that assess the exposure of organizations to environmental and social business risks, as well as corporate governance risks). Version 5.0. Approved by the Order of the General Director of the National Rating Agency LLC dated December 14, 2023 No. PR/14-12/23-1. [Electronic resource]: The official website of NRA LLC. URL: [www.ra-national.ru](http://www.ra-national.ru).
  3. Mazhazhikhov A.A., Miskhozhev E.R. Theoretical issues of research of industrial enterprises as complex self-organizing systems./ Scientific Journal of ITMO Research Institute. Series "Economics and Environmental Management", No. 2, 2023 – pp. 3 - 9.
  4. Kukushkin I.G. The first Russian rating in the field of logistics KTG./ HeavyMagazine, No. 2, 2017 – pp. 62 – 63.
  5. Kukushkin I.G., Vdovenko Z., Shashukov V.N. Leadership index. Rating of carriers of bulky goods./ Technadzor Magazine", № 8 (129), 2017 – pp. 32-34.
  6. Kukushkin I.G., Tropin S.L., Shashukov V.N. Reputation of the company: advantages and disadvantages./ Standards and Quality Magazine", № 11 (1001), 2020 – pp. 24-28.
  7. Korobov V.B. Comparative analysis of methods for determining the weighting coefficients of "influencing factors"./ Journal "Sociology: methodology, methods, mathematical modeling" (Sociology:4M), No. 20, 2005 – pp. 54-73.
  8. Kukushkin I.G., Tropin S.L. Directions of development of the regulatory framework for the transportation of bulky heavy goods./ Journal Standards and Quality", № 9 (987), 2019 – p. 94 - 96.
  9. Tropin S.L. Modern standards of transportation of large-tonnage oversized cargo./ Journal "Roads and transport", No. 8, 2015 – pp. 14-15.
  10. Tropina I.A. Competition "5 stars. Leaders of the chemical industry" - the path to sustainable development./ Chemical Units Magazine", № 4(56), 2021– pp. 40-43.
- 

## AUTHORS

**Tropin Sergey L.**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the RC4 Department "Lifting and Transport Systems" Bauman Moscow State Technical University, 105005, Moscow, 2nd Baumanskaya str., 5, building 1.

**Tropina Irina A.**, Candidate of Economic Sciences, Chairman of the Board of the Interregional Public Organization for the Promotion of Culture, Education, and Sports "Strategy of Unification", 111020, Moscow, 2nd Sinichkina Street, 9A, p. 7.

**Shashukov Vasily N.**, Candidate of Technical Sciences, freelance employee of the Board of the Interregional Public Organization for the Promotion of Culture, Education, and Sports "Strategy of Unification", 111020, Moscow, 2nd Sinichkina Street, 9A, p. 7., [shasvn@yandex.ru](mailto:shasvn@yandex.ru)