

Методика технико-экономической оптимизации поверхности сетевых подогревателей в составе бинарной ПГУ – ТЭЦ

Новичков С. В., Попова Т. И., кандидаты техн. наук

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.

Оптимальная поверхность сетевых подогревателей в составе бинарной парогазовой установки (ПГУ) определяется на основе минимальных затрат при оптимальном соотношении между электрической мощностью паротурбинной установки (ПТУ), тепловой нагрузкой сетевых подогревателей и с учетом режимов работы газотурбинной установки (ГТУ). Предложена методика технико-экономической оптимизации поверхности сетевых подогревателей ПТУ в составе бинарной ПГУ – ТЭЦ на основе частных производных.

Ключевые слова: ПГУ – ТЭЦ, сетевой подогреватель, частная производная, аппроксимация.

Как известно, в условиях эксплуатации режимы работы ГТУ изменяются из-за непостоянства температуры и давления воздуха перед ГТУ, а также вследствие возможного изменения нагрузки, что приводит к изменению входных и выходных параметров газов ГТУ. В зимний период увеличение мощности ГТУ (и соответственно количества теплоты уходящих газов) сопровождается ростом расхода пара в головную часть турбины и возрастанием отбора пара на сетевые подогреватели. В летний период при снижении мощности ГТУ расход пара и нагрузка на сетевые подогреватели уменьшаются.

При проектировании, исходя из условия надежной работы, площадь поверхности сетевого подогревателя $F_{с.п}$ (следовательно, и его стоимость) определяется количеством пара в отборе, которое в свою очередь зависит от расхода в головную часть турбины. Минимальные затраты на ПГУ – ТЭЦ, при которых будет достигнуто оптимальное соотношение между электрической мощностью ПТУ, тепловой нагрузкой сетевых подогревателей и с учетом режимов работы ГТУ, определяют оптимальную площадь поверхности сетевых подогревателей в составе бинарной ПГУ – ТЭЦ.

В настоящей статье рассматривается методическая взаимосвязь влияния параметров работы ГТУ на выбор оптимальной поверхности сетевых подогревателей ПТУ в составе бинарной ПГУ с использованием метода частных производных. При разработке методики вводятся понятия проектно-расчетного и переменного режимов. Для ГТУ проектно-расчетным является режим работы при температуре наружного воздуха 15°C , для теплофикационной ПТУ – среднезимний режим. Переменные режимы учитывают изменение метеорологических условий и нагрузки блока ПГУ – ТЭЦ. В зависимости от харак-

тера климатических и режимных факторов их учет может оказывать существенное влияние на выбор оптимальной поверхности сетевого подогревателя.

В общем виде с учетом режимов работы затраты в ПГУ представим в виде

$$Z^{\text{ПГУ}} = k_{\text{уд}}^{\text{ГТУ}} \sum_{i=1}^n \bar{\tau}_i N_{\text{ГТУ}i} + k_{\text{уд}}^{\text{к.у}} \sum_{i=1}^n \bar{\tau}_i F_{\text{к.у}i} + k_{\text{уд}}^{\text{ПТУ}} \sum_{j=1}^m \bar{\tau}_j N_{\text{ПТУ}j} + k_{\text{уд}}^{\text{с.п}} F_{\text{с.п}}, \quad (1)$$

где $\bar{\tau}_i = \tau_i / \tau_{\text{год}}$ – относительное число часов работы ГТУ в i -м режиме; τ_i – число часов работы ГТУ в i -м режиме, ч; $\bar{\tau}_j = \tau_j / \tau_{\text{год}}$ – относительное число часов работы ПТУ в j -м режиме; $\tau_{\text{год}}$ – число часов работы установки в течение года, ч; $k_{\text{уд}}^{\text{ГТУ}}$, $k_{\text{уд}}^{\text{к.у}}$, $k_{\text{уд}}^{\text{ПТУ}}$, $k_{\text{уд}}^{\text{с.п}}$ – удельные капиталовложения соответственно в газотурбинную установку, котел-утилизатор, паротурбинную установку, сетевые подогреватели; $N_{\text{ГТУ}i}$ – мощность ГТУ в i -м режиме, МВт; $F_{\text{к.у}i}$ – площадь поверхности нагрева котла-утилизатора, м^2 ; $N_{\text{ПТУ}j}$ – мощность ПТУ в j -м режиме, МВт.

Производная затрат на ПГУ по площади поверхности сетевых подогревателей

$$\frac{\partial Z^{\text{ПГУ}}}{\partial F_{\text{с.п}}} = k_{\text{уд}}^{\text{ГТУ}} \sum_{i=1}^n \bar{\tau}_i \frac{\partial N_{\text{ГТУ}i}}{\partial F_{\text{с.п}}} + k_{\text{уд}}^{\text{к.у}} \sum_{i=1}^n \bar{\tau}_i \frac{\partial F_{\text{к.у}i}}{\partial F_{\text{с.п}}} + k_{\text{уд}}^{\text{ПТУ}} \sum_{j=1}^m \bar{\tau}_j \frac{\partial N_{\text{ПТУ}j}}{\partial F_{\text{с.п}}} + k_{\text{уд}}^{\text{с.п}} \frac{\partial F_{\text{с.п}}}{\partial F_{\text{с.п}}}, \quad (2)$$

где $\partial N_{\text{ГТУ}i} / \partial F_{\text{с.п}}$ – производная мощности ГТУ по площади поверхности сетевых подогревателей в i -м режиме, $\text{кВт}/\text{м}^2$; $\partial F_{\text{к.у}i} / \partial F_{\text{с.п}}$ – производная площади поверхности котла-утилизатора по площади поверхности сете-

вых подогревателей, $\text{м}^2/\text{м}^2$; $\partial N_{\text{ПТУ}j}/\partial F_{\text{с.п}}$ — производная мощности ПТУ по площади поверхности сетевых подогревателей в j -м режиме, $\text{кВт}/\text{м}^2$; $\partial F_{\text{с.п}}/\partial F_{\text{с.п}}$ — производная площади поверхности сетевых подогревателей по площади поверхности сетевых подогревателей, $\text{м}^2/\text{м}^2$.

Рассмотрим подробно каждую производную в выражении (2).

1. Производная мощности ГТУ по площади поверхности сетевых подогревателей в i -м режиме

$$\sum_{i=1}^n \bar{\tau}_i \frac{\partial N_{\text{ГТУ}i}}{\partial F_{\text{с.п}}} = \left[\sum_{i=1}^n \bar{\tau}_i \frac{\partial N_{\text{ГТУ}i}}{\partial T_{\text{н.в}i}} \frac{\partial T_{\text{н.в}i}}{\partial T_{2i}} \times \frac{\partial T_{2i}}{\partial T_{\text{yx}i}^{\text{ГТУ}}} \frac{\partial T_{\text{yx}i}^{\text{ГТУ}}}{\partial Q_{\text{yx}i}^{\text{ГТУ}}} \frac{\partial Q_{\text{yx}i}^{\text{ГТУ}}}{\partial Q_{\text{yx}(p)}^{\text{ГТУ}}} \right] \frac{\partial Q_{\text{yx}(p)}^{\text{ГТУ}}}{\partial F_{\text{с.п}}}. \quad (3)$$

Производные мощности ГТУ по температуре наружного воздуха в i -м режиме $\partial N_{\text{ГТУ}i}/\partial T_{\text{н.в}i}$, $\text{кВт}/\text{К}$, температуры наружного воздуха по температуре воздуха после компрессора ГТУ в i -м режиме $\partial T_{\text{н.в}i}/\partial T_{2i}$, $\text{К}/\text{К}$, температуры воздуха после компрессора ГТУ по температуре уходящих газов ГТУ в i -м режиме $\partial T_{2i}/\partial T_{\text{yx}i}^{\text{ГТУ}}$, $\text{К}/\text{К}$, температуры уходящих газов ГТУ по количеству теплоты уходящих газов ГТУ в i -м режиме $\partial T_{\text{yx}i}^{\text{ГТУ}}/\partial Q_{\text{yx}i}^{\text{ГТУ}}$, $\text{К}/\text{кВт}$, раскрыты в [1].

Производную количества теплоты уходящих газов ГТУ в i -м режиме по количеству теплоты уходящих газов в расчетном режиме можно преобразовать следующим образом:

$$\frac{\partial Q_{\text{yx}i}^{\text{ГТУ}}}{\partial Q_{\text{yx}(p)}^{\text{ГТУ}}} = \frac{Q_{\text{к.}y(i)} \eta_{\text{к.}y(i)}}{Q_{\text{к.}y(p)} \eta_{\text{к.}y(p)}} = \frac{Q_{\text{yx}i}^{\text{ГТУ}}}{Q_{\text{yx}(p)}^{\text{ГТУ}}} = \delta Q_{\text{yx}i}^{\text{ГТУ}}. \quad (4)$$

Производная количества теплоты уходящих газов ГТУ в расчетном режиме по поверхности сетевых подогревателей представим в следующем виде:

$$\frac{\partial Q_{\text{yx}(p)}^{\text{ГТУ}}}{\partial F_{\text{с.п}}} = \frac{\partial Q_{\text{yx}(p)}^{\text{ГТУ}}}{\partial F_{\text{к.}y}} \frac{\partial F_{\text{к.}y}}{\partial Q_{\text{к.}y}^{\text{к.}y}} \frac{\partial Q_{\text{к.}y}^{\text{к.}y}}{\partial N_{\text{ПТУ}(p)}} \frac{\partial N_{\text{ПТУ}(p)}}{\partial F_{\text{с.п}}}, \quad (5)$$

где $\partial Q_{\text{yx}(p)}^{\text{ГТУ}}/\partial F_{\text{к.}y}$ — производная количества теплоты уходящих газов ГТУ в расчетном режиме по поверхности котла-утилизатора, $\text{кВт}/\text{м}^2$; $\partial F_{\text{к.}y}/\partial Q_{\text{к.}y}^{\text{к.}y}$ — производная поверхности котла-утилизатора по количеству теплоты, воспринятой котлом-утилизатором в расчет-

ном режиме, $\text{м}^2/\text{кВт}$; $\partial Q_{\text{к.}y}^{\text{к.}y}/\partial N_{\text{ПТУ}(p)}$ — производная количества теплоты, воспринятой котлом-утилизатором в расчетном режиме, по мощности ПТУ в расчетном режиме, $\text{кВт}/\text{м}^2$; $\partial N_{\text{ПТУ}(p)}/\partial F_{\text{с.п}}$ — производная мощности паровой турбины в расчетном режиме по поверхности сетевых подогревателей, $\text{кВт}/\text{м}^2$.

Производные количества теплоты уходящих газов ГТУ по поверхности котла-утилизатора $\partial Q_{\text{yx}(p)}^{\text{ГТУ}}/\partial F_{\text{к.}y}$ и поверхности котла-утилизатора по количеству воспринятой им теплоты от ГТУ $\partial F_{\text{к.}y}/\partial Q_{\text{к.}y}^{\text{к.}y}$ в расчетном режиме раскрываются на основе решения уравнений теплового баланса и теплопередачи котла-утилизатора.

Производную количества теплоты, воспринятой котлом-утилизатором в расчетном режиме от ГТУ, по мощности ПТУ в расчетном режиме можно записать в виде

$$\begin{aligned} \frac{\partial Q_{\text{к.}y}^{\text{к.}y}}{\partial N_{\text{ПТУ}(p)}} &= \frac{\partial Q_{\text{к.}y}^{\text{к.}y}}{\partial Q_{\text{yx}(p)}^{\text{ГТУ}}} \frac{\partial Q_{\text{yx}(p)}^{\text{ГТУ}}}{\partial N_{\text{ПТУ}(p)}} = \\ &= \eta_{\text{к.}y}^{(p)} \frac{1}{\partial N_{\text{ПТУ}(p)}/\partial Q_{\text{yx}(p)}^{\text{ГТУ}}} = \\ &= \eta_{\text{к.}y}^{(p)} \frac{G_{\text{yx}(p)}^{\text{ГТУ}} t_{\text{yx}(p)}^{\text{ГТУ}} C_{p(p)}^{\text{Г}}}{N_{\text{ПТУ}(p)}}, \end{aligned} \quad (6)$$

где $C_{p(p)}^{\text{Г}}$ — теплоемкость уходящих газов ГТУ в расчетном режиме, $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$.

Производная мощности ПТУ по поверхности сетевых подогревателей

$$\begin{aligned} \frac{\partial N_{\text{ПТУ}(p)}}{\partial F_{\text{с.п}}} &= \frac{\partial N_{\text{ПТУ}(p)}}{\partial N_{\text{ПТУ}(j)}} \frac{\partial N_{\text{ПТУ}(j)}}{\partial G_{\text{в.д}(j)}} \frac{\partial G_{\text{в.д}(j)}}{\partial D_{\text{с.п}(j)}} \times \\ &\times \frac{\partial D_{\text{с.п}(j)}}{\partial \Delta t_{\text{с.п}(j)}} \frac{\partial \Delta t_{\text{с.п}(j)}}{\partial \Delta t_{\text{с.п}(p)}} \frac{\partial \Delta t_{\text{с.п}(p)}}{\partial F_{\text{с.п}}}, \end{aligned} \quad (7)$$

где $\partial N_{\text{ПТУ}(p)}/\partial N_{\text{ПТУ}(j)} = \delta N_{\text{ПТУ}}$ — производная мощности ПТУ в расчетном режиме по мощности ПТУ в j -м режиме; $\partial N_{\text{ПТУ}(j)}/\partial G_{\text{в.д}(j)}$ — производная мощности ПТУ в j -м режиме к расходу пара в контуре высокого давления котла-утилизатора в j -м режиме; $\partial G_{\text{в.д}(j)}/\partial D_{\text{с.п}(j)}$ — производная расхода пара в контуре высокого давления котла-утилизатора в j -м режиме по расходу пара на сетевые подогреватели из отборов турбины в j -м режиме; $\partial D_{\text{с.п}(j)}/\partial \Delta t_{\text{с.п}(j)}$ — производная расхода пара на сетевые подогреватели из отборов турбины в j -м режиме по температурному напору сетевых подогрева-

телей в j -м режиме; $\partial \Delta t_{c.n(j)}/\partial \Delta t_{c.n(p)}$ — производная температурного напора сетевых подогревателей в j -м режиме по температурному напору сетевых подогревателей в расчетном режиме; $\partial \Delta t_{c.n(j)}/\partial D_{c.n(p)}$ — производная температурного напора в j -м режиме по расходу пара на сетевые подогреватели из отборов турбины в расчетном режиме; $\partial D_{c.n(p)}/\partial F_{c.n}$ — производная расхода пара на сетевые подогреватели из отборов турбины в расчетном режиме по поверхности сетевого подогревателя.

Все производные, входящие в выражение (7), раскрываются на основе решения уравнений электрической мощности ПТУ, теплового баланса и теплопередачи сетевого подогревателя. После преобразований производная мощности ПТУ по поверхности сетевых подогревателей в расчетном режиме имеет следующий вид:

$$\frac{\partial N_{ПТУ(p)}}{\partial F_{c.n}} = \delta N_{ПТУ} H_j^{ПТУ} \beta_{(j)} \frac{k_{c.n(p)}}{k_{c.n(j)}} \frac{Q_{c.n(i)}}{Q_{c.n(p)}} \frac{D_{c.n(p)}}{F_{c.n}}, \quad (8)$$

где $H_j^{ПТУ}$ — срабатываемый теплоперепад в паровой турбине, кДж/кг; $\beta_{(j)}$ — доля расхода пара контура высокого давления котла-утилизатора относительно расхода пара на сетевые подогреватели из отборов турбины в j -м режиме; $k_{c.n(j)}$ и $k_{c.n(p)}$ — коэффициенты теплопередачи сетевого подогревателя в j -м и расчетном режимах, Вт/(м² · К); $\delta N_{ПТУ} = \partial N_{ПТУ(p)}/\partial N_{ПТУ(j)}$.

В связи с тем, что площадь $F_{c.n}$ определяется диапазоном работы ПТУ (включая отпуск теплоты), в производной теплоты уходящих газов ГТУ в своем расчетном режиме (15 °С) по площади сетевого подогревателя должна быть учтена сумма режимов работы ПТУ. После преобразований выражение (5) примет следующий вид:

$$\frac{\partial Q_{yx(p)}^{ГТУ}}{\partial F_{c.n}} = - \frac{Q_{yx(p)}^{ГТУ}}{\Delta J_{к.у(p)}} \frac{C_{p(p)}^r t_{yx(p)}}{N_{ПТУ(p)}} \sum_{j=1}^m \bar{\tau}_j \times \delta N_{ПТУ} H_j^{ПТУ} \beta_j \frac{K_{c.n(p)}}{K_{c.n(j)}} \frac{Q_{c.n(i)}}{Q_{c.n(p)}} \frac{D_{c.n(p)}}{F_{c.n}}, \quad (9)$$

где $\Delta J_{к.у(p)}$ — разность энтальпий уходящих газов на входе в котел-утилизатор и на выходе из него в расчетном режиме, кДж/кг.

После преобразований производная мощности ГТУ по поверхности сетевых подогревателей в i -м режиме

$$\sum_{i=1}^n \bar{\tau}_i \frac{\partial N_{ГТУi}}{\partial F_{c.n}} = - \left[\sum_{i=1}^n \bar{\tau}_i \delta N_{ГТУi}(t_{н.в}) \frac{T_{н.вi}}{T_{yx i}^{ГТУ}} \times \frac{1}{G_{yx(i)}^{ГТУ} C_{p(i)}^r} \delta Q_{yx(i)}^{ГТУ} \right] \frac{Q_{yx(p)}^{ГТУ}}{\Delta J_{к.у(p)}} \frac{C_{p(p)}^r t_{yx(p)}}{N_{ПТУ(p)}} \sum_{j=1}^m \bar{\tau}_j \times \delta N_{ПТУ} H_j^{ПТУ} \beta_{(j)} \frac{k_{c.n(p)}}{k_{c.n(j)}} \frac{Q_{c.n(i)}}{Q_{c.n(p)}} \frac{D_{c.n(p)}}{F_{c.n}}. \quad (10)$$

2. Производная поверхности котла-утилизатора по поверхности сетевых подогревателей

$$\sum_{i=1}^n \bar{\tau}_i \frac{\partial F_{к.у(i)}}{\partial F_{c.n}} = \sum_{i=1}^n \bar{\tau}_i \frac{\partial F_{к.у(i)}}{\partial Q_{к.у(i)}} \frac{\partial Q_{к.у(i)}}{\partial Q_{к.у(p)}} \frac{\partial Q_{к.у}^p}{\partial Q_{yx(p)}^{ГТУ}} \frac{\partial Q_{yx(p)}^{ГТУ}}{\partial F_{c.n}}. \quad (11)$$

После преобразований производная (11) принимает следующий вид:

$$\sum_{i=1}^n \bar{\tau}_i \frac{\partial F_{к.у(i)}}{\partial F_{c.n}} = - \sum_{i=1}^n \bar{\tau}_i \frac{Q_{c.n(i)}}{Q_{c.n(p)}} \frac{\eta_{к.у}^p}{K_{к.у(i)} \Delta t_{к.у(i)}} \times \frac{Q_{yx(p)}^{ГТУ}}{\Delta J_{к.у(p)}} \frac{C_{p(p)}^r t_{yx(p)}^{ГТУ}}{N_{ПТУ(p)}} \sum_{j=1}^m \bar{\tau}_j \times \delta N_{ПТУ} H_i^{ПТУ} \beta_{(i)} \frac{D_{c.n(p)}}{F_{c.n}}. \quad (12)$$

3. Производная мощности ПТУ по поверхности сетевых подогревателей в j -м режиме

$$\sum_{j=1}^m \bar{\tau}_j \frac{\partial N_{ПТУ(j)}}{\partial F_{c.n}} = \sum_{j=1}^m \bar{\tau}_j H_i^{ПТУ} \beta_{(i)} \times \frac{k_{c.n(p)}}{k_{c.n(j)}} \frac{Q_{c.n(i)}}{Q_{c.n(p)}} \frac{D_{c.n(p)}}{F_{c.n}}. \quad (13)$$

Подставляя полученные по формулам (10), (12) и (13) производные в выражение (2) и учитывая, что производная $\partial F_{c.n}/\partial F_{c.n} = 1$, после преобразований получаем окончательное выражение для определения оптимальной площади поверхности сетевых подогревателей $F_{c.n}^{опт}$ в составе бинарной ПГУ – ТЭЦ:

$$F_{c.n}^{опт} = D_{c.n}^p \sum_{j=1}^m \bar{\tau}_j \delta k_{c.n(j)} \delta Q_{c.n(j)} H_j^{ПТУ} \beta_{(j)} \times \left\{ \delta k_{уд}^{ГТУ} \left[\sum_{i=1}^n \bar{\tau}_i \delta N_{ГТУi}(t_{н.в}) \frac{T_{н.вi}}{T_{yx i}^{ГТУ}} \frac{1}{G_{yx(i)}^{ГТУ} C_{p(i)}^r} \times \delta Q_{yx(i)}^{ГТУ} \right] \frac{Q_{yx(p)}^{ГТУ}}{\Delta J_{к.у(p)}} \frac{C_{p(p)}^r t_{yx(p)}}{N_{ПТУ(p)}} \sum_{j=1}^m \bar{\tau}_j \delta N_{ПТУ(j)} + \right.$$

$$\begin{aligned}
& + \delta k_{\text{уд}}^{\text{к.у}} \sum_{i=1}^n \bar{\tau}_i \frac{\eta_{\text{к.у}}^{(\text{p})}}{K_{\text{к.у}}^{(i)} \Delta t_{\text{к.у}}^{(i)}} \frac{Q_{\text{у.х}(\text{p})}^{\text{ГТУ}}}{\Delta J_{\text{к.у}}^{(\text{p})}} \frac{t_{\text{у.х}(\text{p})}^{\text{ГТУ}} C_{\text{p}(\text{p})}^{\text{r}}}{N_{\text{ПТУ}(\text{p})}} \times \\
& \times \left. \delta Q_{\text{к.у}(i)} \sum_{i=1}^n \bar{\tau}_i \delta N_{\text{ПТУ}(j)} - \delta k_{\text{уд}}^{\text{ПТУ}} \right\}, \quad (14)
\end{aligned}$$

где $\delta k_{\text{уд}}^{\text{ГТУ}} = k_{\text{уд}}^{\text{ГТУ}} / k_{\text{уд}}^{\text{с.п}}$, $\delta k_{\text{уд}}^{\text{ПТУ}} = k_{\text{уд}}^{\text{ПТУ}} / k_{\text{уд}}^{\text{с.п}}$, $\delta k_{\text{уд}}^{\text{к.у}} = k_{\text{уд}}^{\text{к.у}} / k_{\text{уд}}^{\text{с.п}}$ — отношения удельных капиталовложений в ГТУ, ПТУ, котел-утилизатор к удельным капиталовложениям в сетевые подогреватели.

В качестве примера расчета по предлагаемой методике определим оптимальную площадь поверхности сетевых подогревателей паровой турбины Т-56/70-6,8 в составе бинарной ПГУ – ТЭЦ, выполненной по дублированной схеме и состоящей из ПТУ, двух газотурбинных установок V-64.3А и двух котлов-утилизаторов. Технические характеристики газовой турбины V-64.3А приняты по [2], теплофикационной турбины Т-56/70-6,8 — по [3]. Удельные капиталовложения в оборудование бинарной ПГУ-ТЭЦ следующие: $k_{\text{уд}}^{\text{ГТУ}} = 8000$ руб/кВт, $k_{\text{уд}}^{\text{к.у}} = 7000$ руб/м²,

$$k_{\text{уд}}^{\text{ПТУ}} = 10\,000 \text{ руб/кВт}, \quad k_{\text{уд}}^{\text{с.п}} = 10\,500 \text{ руб/м}^2.$$

После расчета по выражению (14) получаем, что площадь оптимальной поверхности двух сетевых подогревателей для принятых исходных данных равна 3282,16 м². Итак, площадь оптимальной суммарной поверхности сетевых подогревателей зависит от соотношения значений мощностей в расчетном и переменном режимах, интенсивности теплообмена и соотношения удельных капитальных вложений в элементы бинарной ПГУ – ТЭЦ.

Список литературы

1. Новичков С. В., Попова Т. И. Методика технико-экономической оптимизации поверхности нагрева котла-утилизатора в составе бинарной ПГУ. — Промышленная энергетика, 2012, № 12.
2. Цанев С. В., Буров В. Д., Ремезов А. Н. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций / Под ред. С. В. Цанева. — М.: Изд-во МЭИ, 2002.
3. Баринберг Г. Д., Валамин А. Е. Эффективные паровые турбины ЗАО “Уральский турбинный завод”. — Электрические станции, 2004, № 11.

novishkovsv@mail.ru