

УДК 621.577

## Особенности и эффективность применения теплонасосных установок для отопления зданий сортировочных горок железнодорожного транспорта

М. Д. ФИЛИПОВ

filippovmikhail@mail.ru

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта  
107996, Москва, 3-я Мытищинская ул., 10

**В статье рассмотрена возможность и особенности применения теплового насоса в качестве охладителя компрессора на горочном комплексе с последующим использованием отведенной тепловой энергии на отопление зданий железнодорожного транспорта. Приведена оценка целесообразности теплонасосного отопления зданий сортировочных горок. Произведено сравнение теплонасосных установок (ТНУ) с традиционными способами обогрева и представлен прогнозируемый экономический эффект от внедрения ТНУ.**

**Ключевые слова:** энергоэффективность; низкопотенциальная тепловая энергия; система охлаждения компрессора; качество сетевой воды; потенциал тепла; тепловой насос; коэффициент преобразования энергии; область эффективности; эксплуатационные затраты.

### Features and efficiency of applying heat pump units for heating buildings at railway hump yards

M. D. FILIPPOV

filippovmikhail@mail.ru

JSC «VNIIZhT» (Railway Research Institute)  
Russia, Moscow, 107996, 3rd Mytischinskaya Str., 10

**The article examines feasibility and peculiarities of using heat pumps for compressor cooling at a hump yard facility with subsequent utilization of disposed heat energy for heating buildings within the railway transport system. A feasibility study of heating hump yard buildings with heat pumps is presented. Comparative analysis of heat pump units (HPU) and conventional heating techniques has been made, and economic benefits of HPU introduction have been forecasted.**

**Keywords:** power efficiency, low-potential heat energy, compressor cooling system, heating system water quality, heat potential, heat pump, energy conversion coefficient, efficiency area, operating costs.

В соответствии с Указом Президента РФ от 4 июня 2008 г. № 889 [1] и Федеральным законом от 23 ноября 2009 г. № 261 [2], в ОАО «РЖД» разработана энергетическая стратегия [3], включающая задачу сокращения потребления топливно-энергетических ресурсов (ТЭР), в том числе за счет применения альтернативных источников тепла и инновационных решений в энергообеспечении. Одним из возможных инструментов решения поставленной задачи является применение теплонасосных установок (ТНУ).

На основе проведенных исследований, сформирован перечень хозяйств железнодорожного транспорта, обла-

дающих, в силу специфики своей деятельности, технологическими процессами с низкопотенциальной тепловой энергией, пригодной для использования в тепловом насосе (ТН) с целью отопления административно-бытовых зданий и складов [4]. В качестве примера, рассмотрим одно из таких хозяйств — «Управление автоматики и телемеханики», имеющее в своей структуре сортировочные горки с компрессорными станциями, на которых источником низкопотенциального тепла является вода системы охлаждения компрессоров. При этом среднегодовая температура сетевой воды достигает 22–24 °С и не опускается зимой ниже отметки в 14 °С.

Следует отметить, что в настоящее время на сети железных дорог эксплуатируется 137 сортировочных горок, в том числе 110 механизированных с компрессорными станциями [5].

Особенность применения тепловых насосов на горочных комплексах заключается в возможности использования ТН в качестве способа охлаждения компрессора взамен традиционного (рис. 1), где воду охлаждают в градирнях 3, преобразования полученной низкопотенциальной тепловой энергии в высокопотенциальную и ее использовании в системе отопления здания сортировочной горки (рис. 2).

Недостатком традиционной схемы охлаждения, показанной на рис. 1, является то, что из градирни 3 рассеивается тепловая энергия в окружающую среду, что обусловлено принципом ее действия. Эта энергия как раз и представляет собой источник снижения потребления энергоресурсов и экономии эксплуатационных затрат на теплоснабжение зданий сортировочных горок, если ее использовать с помощью теплового насоса. Еще одним существенным минусом такой схемы является отсутствие должной подготовки воды, подаваемой в систему охлаждения компрессора при помощи циркуляционного насоса 2. Кроме того, циркулирующая в системе охлаждения вода постоянно загрязняется в градирне. Это влечет

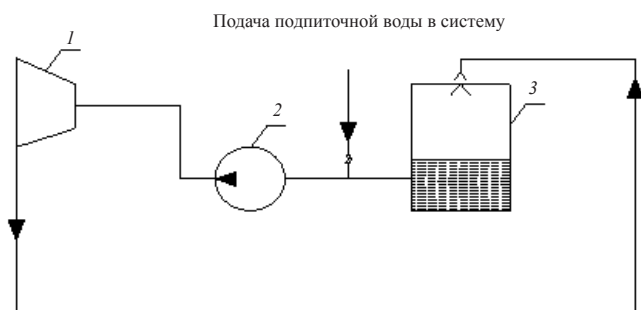


Рис. 1. Схема работы системы охлаждения компрессоров: 1 — компрессор; 2 — циркуляционный насос; 3 — градирня

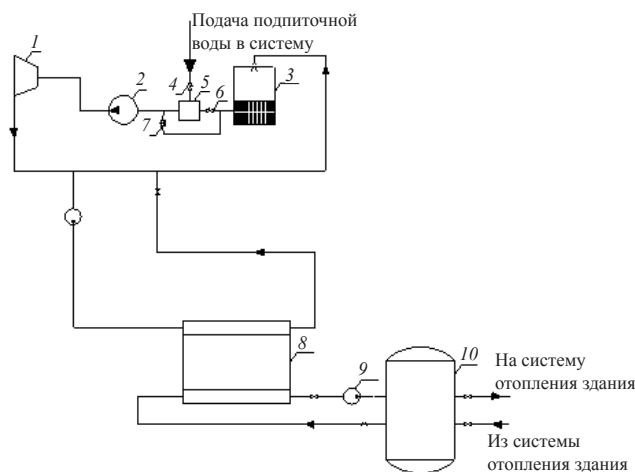


Рис. 2. Принципиальная схема совмещения гидравлической системы ТН с контуром охлаждения компрессоров сортировочной горки:

1 — компрессор; 2, 9 — циркуляционный насос; 3 — градирня; 4, 6 — задвижка; 5 — блок системы водоподготовки; 7 — регулирующий клапан; 8 — тепловой насос; 10 — буферный накопитель

за собой несоответствие качества воды в системе охлаждения компрессоров нормам качества подпиточной и сетевой воды тепловых сетей. В комплексе это приводит к росту гидравлического и термического сопротивления системы охлаждения и загрязнению теплообменных поверхностей компрессоров. В свою очередь это увеличивает расход электроэнергии на перекачку теплоносителя, повышает нагрузку на насосное оборудование и приводит к внеплановым ремонтам теплообменников компрессоров и отдельных элементов системы охлаждения.

На рис. 2 показана запатентованная принципиальная схема совмещения гидравлической системы ТН с системой теплоснабжения здания и контуром охлаждения компрессоров, позволяющая избежать недостатки традиционного способа охлаждения [6].

Принцип работы, предлагаемой к рассмотрению схемы, заключается в следующем. Обратная вода системы охлаждения, перед пуском в работу компрессора 1 (или группы компрессоров), проходит соответствующую очистку и обработку в блоке системы водоподготовки 5. Подача воды в блок осуществляется открытием задвижки 4, при закрытом регулирующем клапане 7. После заполнения системы охлаждения компрессора обратной водой, задвижка 4 закрывается. Далее, при помощи циркуляционного насоса 2 (или группы циркуляционных насосов), уже подготовленная вода подается в систему охлаждения,

после чего происходит ее разделение на два потока. Первый поток по системе трубопроводов идет в тепловой насос 8, где отдает свое тепло фреону в испарителе, далее — в градирню 3, а второй — по системе трубопроводов подается сразу в градирню 3. Затем оба потока соединяются и уже охлажденная вода снова подается к работающему компрессору для отвода тепла. В случае неудовлетворения сетевой воды нормам качества (возможное загрязнение второго потока в градирни), она может повторно пройти очистку и обработку в блоке системы водоподготовки 5. Что касается работы теплового насоса 8, то процесс преобразования тепловой энергии в высокопотенциальную происходит по классической схеме, результатом чего является нагрев воды системы отопления здания в конденсаторе с последующей подачей ее с помощью циркуляционного насоса 9 (или группы циркуляционных насосов) в буферный накопитель 10 и затем обратно в систему.

### Оценка целесообразности теплонасосного отопления зданий сортировочных горок

Для оценки целесообразности внедрения теплового насоса на сортировочную горку требуется определить:

— потенциал тепла, отводимого от работающих компрессоров при различном режиме их работы, для чего требуется определить среднее эксплуатационное количество тепловой энергии, воспринятое водой при среднесуточной работе компрессоров и минимальное количество тепловой энергией, воспринимаемое водой за единицу времени;

— расход тепла на систему отопления здания — предполагаемого потребителя тепловой энергии;

— соотношение тарифов на тепловую и электрическую энергии для рассматриваемого географического места и его сравнение с теплонасосным коэффициентом:

$$\varepsilon_T > \frac{T_T}{T_{T,3}}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_T$  — теплонасосный коэффициент.

Графически неравенство (1) можно представить в виде зависимости энергетической составляющей стоимости тепла, выработанной тепловым насосом, от  $\varepsilon_T$  и тарифов на электроэнергию (рис. 3). Так же график содержит эксплуатационные затраты на приобретение тепловой энергии от котельной при средней стоимости тепловой энергии на сети железных дорог  $T_{T,3,ср} = 1,393$  руб/кВт. В обоих случаях расчет производился на среднюю температуру наружного воздуха  $t_{cp}^H = -3$  °С для типового здания сортировочной горки с расходом тепла на отопление  $Q_{от} = 50$  кВт.

Полученная область, расположенная ниже линии эксплуатационных затрат на отопление здания от котельной, является экономически целесообразной для внедрения теплонасосного отопления.

В случае удовлетворения вышеуказанных факторов оценить экономический эффект от внедрения можно по формулам (1) и (2):

1) для случая сравнения ТНУ с котельной:

$$\Delta Z_{эспл} = \Delta Z_{от} + \Delta Z_{подл} = \tau \left( Q T_{T,3} \left( 1 - \frac{T_3}{\varepsilon_T T_{T,3}} \right) + H \times T_B (\bar{Q}_{эспл}^H - Q_{гр}^H) \right); \quad (1)$$

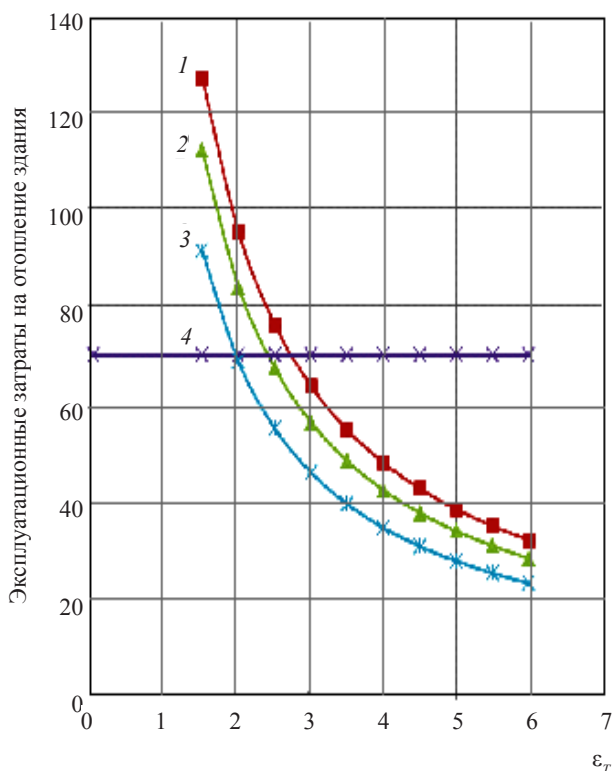


Рис. 3 График зависимости эксплуатационных затрат на отопление типового здания сортировочной горки от  $\epsilon_T$  и стоимости электроэнергии:

1 — при  $C_{эл} = 3,4$  руб/кВт; 2 — при  $C_{эл} = 3,31$  руб/кВт; 3 — при  $C_{эл. ср} = 2,732$  руб/кВт; 4 — при  $C_{т. э. ср} = 1,393$  руб/кВт

2) для случая сравнения ТНУ электродкотлами:

$$\Delta Z_{эксп} = \Delta Z_{от} + \Delta Z_{подп} = \tau \left( Q T_3 \left( 1 - \frac{T_3}{\epsilon_T} \right) + H \times T_в \left( \bar{Q}_{эксп}^н - Q_{гр}^н \right) \right), \quad (2)$$

где  $\Delta Z_{от}$  и  $\Delta Z_{подп}$  — снижение эксплуатационных затрат на отопление и подпитку сетевой водой, работающих компрессоров сортировочной горки соответственно, руб.;

$\tau$  — продолжительность отопительного периода для рассматриваемого географического места, ч;

$Q$  — расход тепла на отопление здания в зависимости от температуры наружного воздуха, кВт/ч;

$T_в$ ,  $T_{т.э}$  и  $T_3$  — тариф на водоснабжение, тепловую и электрическую энергии соответственно, руб/кВт;

$H = 4\%$  — норма потерь воды в градирнях;

$\bar{Q}_{эксп}^н$  и  $Q_{гр}^н$  — среднее эксплуатационный и при реализации теплонасосного отопления расходы сетевой воды на охлаждение компрессоров сортировочной горки, м<sup>3</sup>/ч.

Следует отметить, что для определения  $\Delta Z_{подп}$  необходимо оценить график и хронометраж работы компрессоров сортировочной горки за отопительный период, а также климатические условия географического месторасположения [7]. По результатам проведенных измерений и вычислений снижение затрат на подпитку сетевой водой на горочном комплексе при применении теплового насоса в качестве охладителя компрессора могут составить  $\Delta Z_{подп} = 62899 + 267322$  руб.

### Экономический эффект от использования тепловых насосов в качестве охладителей компрессоров сортировочной горки

Технически задача использования ТНУ в качестве охладителя компрессора была решена на трех сортировочных горках Московской железной дороги: на станциях Бекасово, Перово и Узловая-1, что позволяет экономить по прогнозируемой оценке в среднем до 1 166 604,92 кВт тепла на отопление зданий (таблица).

На основе технико-экономического анализа составлены диаграммы сравнения потребления энергоресурсов за отопительный сезон, а также эксплуатационных затрат при теплоснабжении зданий сортировочных горок от котельной, электродкотлов и теплонасосных установок (рис. 4).

Из диаграмм сравнения видно, что ТНУ при  $\epsilon_T = 3,5$  может позволить экономии до 71% потребления энергоресурсов за отопительный сезон и до 27% (до 50% в случае с электродкотлами) снизить затраты на отопление зданий сортировочных горок.

### Прогнозируемый экономический эффект от внедрения тепловых насосов для отопления зданий сортировочных горок

Месторасположение сортировочной горки	Стоимость энергоресурсов для рассматриваемого объекта, руб/кВт*		Тепловая нагрузка здания, кВт**	Источник отопления	Прогнозируемое снижение тепловой энергии на отопление зданий, кВт/год***	Прогнозируемое снижение затрат на отопление зданий, руб
	Тепловая энергия	Электроэнергия				
ст. Бекасово	1,075	2,76	58,41	Котельная Тепловые насосы	210276,00	246481,59
ст. Узловая-1	—	3,00	48,96	Электродкотлы Тепловые насосы	173738,06	655197,71
ст. Перово	1,238	3,35	62,02	Котельная Тепловые насосы	227524,80	264925,62

В таблице:

\* — стоимость приобретения энергоносителей по данным ОАО «РЖД» на момент 01.03.2013 г.;

\*\* — расчет произведен на среднюю температуру наружного воздуха рассматриваемого места;

\*\*\* — экономический эффект, получаемый при прогнозируемом  $\epsilon_T = 3,5$ .

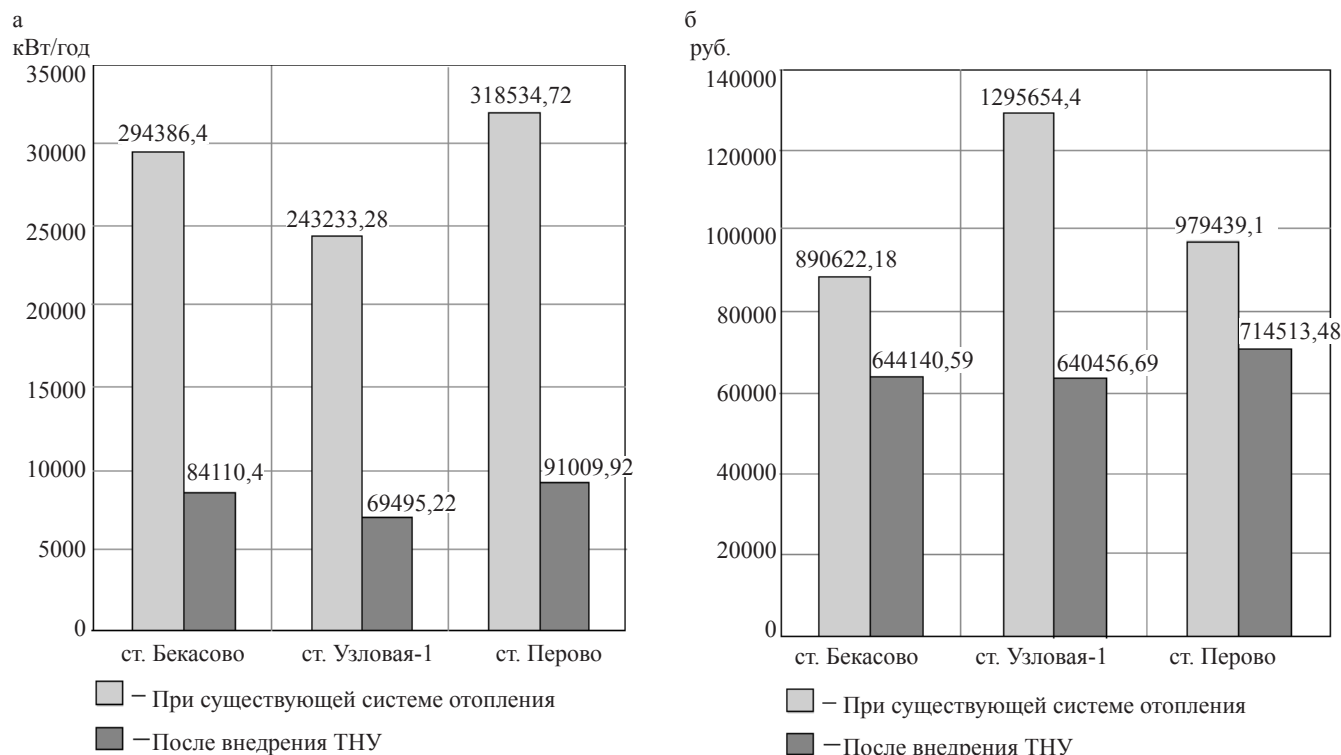


Рис. 4. Диаграммы сравнения потребления энергоресурсов (а) и эксплуатационных затрат (б) за отопительный сезон при работе существующих источников теплоснабжения зданий и ТНУ

### Заключение

1. Предварительно обработанную и подготовленную в соответствующем блоке очистки воду системы охлаждения компрессоров сортировочной горки можно использовать в качестве низкопотенциального источника тепловой энергии в тепловом насосе для отопления зданий. В этом случае ТН является охладителем компрессорного агрегата, что позволяет снизить потери воды в градирнях, тем самым уменьшив эксплуатационные затраты на подпитку  $\Delta Z_{\text{подп}}$ ;

2. Для оценки потенциала отводимого тепла от работающих компрессорных машин необходимо определить график и хронометраж работы компрессорной станции в зависимости от среднеэксплуатационной и минимальной нагрузок на сортировочной горки;

3. В настоящее время из-за действующего соотношения цен на приобретение ОАО «РЖД» тепловой и электрической энергии ТН обладает наибольшим экономическим эффектом при сравнении с электродотлами — снижение до 50% эксплуатационных затрат на отопление здания при  $\epsilon_T = 3,5$  (см. рис. 4). Устойчивая конкурентная база для теплонасосного отопления, в сравнении с отоплением от котельной, возникнет в случае увеличения тарифов на тепловую энергию в среднем на 37,3% по сети железных дорог.

### Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации от 4 июня 2008 года № 889 «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики».

2. Федеральный закон от 23 ноября 2009 г. № 261 «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».

3. Энергетическая стратегия холдинга «Российские железные дороги» на период до 2015 года и на перспективу до 2030 года.

4. Филиппов М. Д. Перспективы использования теплонасосного отопления на объектах железнодорожного транспорта // Сб. тезисов докладов научно-технической конференции «Индустрия холода для продовольственной, энергетической и экологической безопасности» в рамках выставки «CHILLVENTA ROSSIIA 2013». — М.: Домира, 2013. С. 89–92.

5. Кобзев В. А. Техническое перевооружение сортировочных горок // Автоматика Связь Информатика. 2013. № 2. С. 47–48.

6. Науменко С. Н., Костин Н. М., Филиппов М. Д. Система охлаждения компрессоров сортировочных горок железнодорожных станций (варианты): патент на полезную модель № 130009. М.: ФИПС Роспатент, приоритет от 28.01.2013.

7. Перспективы использования тепловых насосов на горочных комплексах железных дорог/С. Н. Науменко [и др.] // Вестник ВНИИЖТ. 2012. № 4. С. 25–29.

8. Сухих А. А., Антаненкова И. С. Термодинамическая эффективность теплонасосных установок // Вестник Международной академии холода. 2013. № 1.

9. Иванов Б. А. Термодинамический анализ работы идеального теплового насоса // Вестник Международной академии холода. 2012. № 1.

## References

1. Ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 4 ijunja 2008 goda №889 «O nekotoryh merah po povysheniju jenergeticheskoy i jekologicheskoy jeffektivnosti rossijskoj jekonomiki».
2. Federal'nyj zakon ot 23 nojabrja 2009g. №261 «Ob jenergosberezenii i povyshenii jenergeticheskoy jeffektivnosti i o vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii».
3. Jenergeticheskaja strategija holdinga «Rossijskie zheleznye dorogi» na period do 2015 goda i na perspektivu do 2030 goda.
4. Filippov M. D. Perspektivy ispol'zovanija teplonasosnogo otoplenija na ob#ektah zheleznodorozhnogo transporta // Sb. tezisov dokladov nauchno-tehnicheskoy konferencii «Industrija holoda dlja prodovol'stvennoj, jenergeticheskoy i jekologicheskoy bezopasnosti» v ramkah vystavki «CHILLVENTA ROSSIJA 2013». — M.: Domira, 2013. S. 89–92.
5. Kobzev V. A. *Avtomatika Svjaz' Informatika*. 2013. No 2. pp. 47–48.
6. Naumenko S. N., Kostin N. M., Filippov M. D. Sistema ohlazhdenija kompressorov sortirovochnyh gorok zheleznodorozhnyh stancij (varianty): patent na poleznuju model' №130009. M.: FIPS Rospatent, prioritet ot 28.01.2013.
7. Perspektivy ispol'zovanija teplovyh nasosov na gorochnyh kompleksah zheleznyh dorog/S. N. Naumenko [i dr.] *Vestnik VNIIZhT*. 2012. No 4. pp. 25–29.
8. Suhij A. A., Antanenkova I. S. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*. 2013. No 1.
9. Ivanov B. A. *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*. 2012. No 1.

## Требования к рукописям, представляемым в журнал «Вестник МАХ»

- В начале статьи, слева – УДК;
- после названия статьи – авторы с указанием места работы и контактной информации (e-mail);
- отдельно указываются ключевые слова на русском и английском (не более десяти);
- одновременно со статьей представляется аннотация (References) на русском и английском языках. Аннотация должна содержать от 100 до 250 слов (приблизительно 700 печатных знаков). Аннотация должна быть полноценной и информативной, не содержать общих слов, отражать содержание статьи и результаты исследований, строго следовать структуре статьи. В тексте следует применять значимые слова из статьи, употреблять синтаксические конструкции, свойственные языку научных и технических документов, избегать сложных грамматических конструкций.
- статьи представляются набранными на компьютере в текстовом редакторе Word 97-2007 на одной стороне листа через 1,5 интервала, размер шрифта 14.
- объем статьи не более 12 страниц (формат А4, вертикальный, 210x297 мм; поля: левое - 2 см, правое - 2 см, верхнее - 2 см, нижнее - 2 см);
- иллюстрации представляются на магнитном носителе в следующем формате: растровые - TIFF-CMYK-300 dpi, TIFF-BM-800 dpi, векторные - EPS-CMYK4
- формулы и отдельные символы набираются с использованием редактора формул MathType (Microsoft Equation). (не вставлять формулы из пакетов MathCad и MathLab).
- в статьях необходимо использовать Международную систему единиц (СИ);
- Список использованных литературных источников должен быть оформлен по ГОСТу и содержать ссылки только на опубликованные работы. Номера ссылок в тексте должны идти строго по порядку их цитирования и заключаться в квадратные скобки. Количество пристатейных ссылок не менее 10-15

*Статьи, оформленные с нарушением правил, редакцией не принимаются и возвращаются авторам без рассмотрения по существу. Автор гарантирует отсутствие плагиата и иных форм неправомерного заимствования результатов других произведений.*

**Данные об аффилировании авторов (author affiliation).**

На отдельной странице и отдельным файлом: – сведения об авторах на русском и английском языках: фамилия, имя, отчество полностью, ученая степень, звания (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать), должности основного места работы (учебы); наименование и почтовые адреса учреждений, в которых работают авторы, e-mail.

Статьи принимаются на магнитном носителе и в печатном экземпляре или высылаются на электронный адрес редакции [vestnikmax@rambler.ru](mailto:vestnikmax@rambler.ru)

**С аспирантов и студентов плата за публикации не взимается**