

ориентация структурных составляющих в радиальном направлении изменяется на ориентацию вдоль обрабатываемой поверхности, что с увеличением плотности дислокаций с  $0,566 \cdot 10^7$  до  $0,712 \cdot 10^9$  см<sup>-2</sup> препятствуют росту усталостных трещин. Сами дислокации являются препятствиями для перемещающихся дислокаций, что объясняет повышение усталостной прочности после ППД и подтверждается полученными результатами.

Следовательно, введение в технологию восстановления валов наплавкой проволокой Св-08Х13 операции поверхностного пластического деформирования обкаточным роликом с силой его прижатия ролика 2900 Н повышает предел выносливости восстановленных валов на 25–30 %.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Молодык, Н.В. Восстановление деталей машин: справочник / Н.В. Молодык, А.С. Зенкин. – М.: Машиностроение, 1989. – 400 с.
2. Кравчук, В.С. Сопротивление деформированию и разрушению поверхностно-упрочнённых деталей машин и элементов конструкций / В.С. Кравчук, Абу Айаш Юсеф, А.В. Кравчук. – Одесса: Астропринт, 2000. – 160 с.
3. Пшибыльский, В.В. Технология поверхностной пластической обработки / В.В. Пшибыльский. – М.: Металлургия, 1991. – 479 с.
4. Кудрявцев, И.В. Нераспространяющиеся усталостные трещины / И. В. Кудрявцев. – М.: Машиностроение, 1982. – 171 с.

УДК 621.5

### ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ЗАПРАВКИ АВТОМОБИЛЕЙ

*Довгялло А.И., Угланов Д.А., Цапкова А.Б., Шиманов А.А.*

Самарский государственный аэрокосмический университет  
(национальный исследовательский университет),

Самара, Российская Федерация

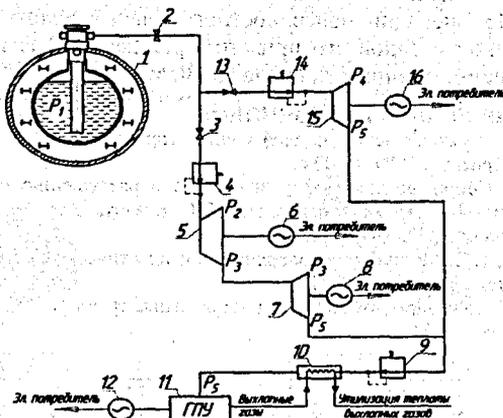
Сжиженный природный газ (СПГ) сегодня находит всё большее применение. Он используется для газификации коммунального хозяйства, промышленных предприятий, автотранспорта в местах и регионах, удаленных от газопроводной системы.

Существует ряд решений, которые позволяют использовать низкотемпературный потенциал СПГ для получения дополнительной энергии [1]. Одним из таких решений является установка в комплекс СПГ газовой турбины за теплообменником-испарителем, с помощью которой можно получить работу, которую затем возможно преобразовать в электрическую энергию. В данной публикации произведён расчёт схемы комплекса СПГ с установленными в нем тремя турбинами. В качестве аккумулятора давления в газификаторе используется ёмкость с криогенной заправкой (ЕКЗ) [2].

На основе ЕКЗ была спроектирована установка, утилизирующая низкопотенциальное тепло, при эксплуатации которой вырабатывается дополнительная электрическая энергия [1]. Энергоустановка, использующая запасённое низкопотенциальное тепло для производства энергии (по терминологии Г.Н. Алексеева [4]), называется теплоотрицательной. Принципиальная схема установки представлена на рисунке 1.

Расчеты установки по схеме на рисунке 1 проводились с учетом того, что для ГПУ необходима подача газа под давлением  $p_5 = 0,1$  МПа с расходом газа  $G_2 = 0,042$  кг/с при мощности ГПУ  $N_{ГПУ} = 1011$  кВт.

Для оценки эффективности работы были проведены расчеты предлагаемой установки при различных конечных давлениях в ЕКЗ. Во всех вариантах масса заправленного криопродукта составляет 866 кг. Результаты расчетов приведены в таблице 1.



- 1 – ёмкость с криогенной заправкой (ЕКЗ); 2 – задвижка; 3 – задвижка;  
 4 – редуктор на давление  $P_1$ ; 5 – первая турбина 1 контура; 6 – электрогенератор;  
 7 – вторая турбина 1 контура; 8 – электрогенератор; 9 – редуктор на давление  $P_5$ ;  
 10 – теплообменник; 11 – газопоршневая установка (ГПУ); 12 – электрогенератор;  
 13 – задвижка; 14 – редуктор на давление  $P_4$ ; 15 – турбина 2 контура;  
 16 – электрогенератор

Рисунок 1 – Принципиальная схема теплоотрицательной установки

Таблица 1 – Результаты расчета теплоотрицательной установки

$P$ , МПа	$V$ , м <sup>3</sup>	$\tau_{газиф}$ , ч	$W_1$ турб 1 конт., кВт·ч	$W_2$ турб 1 конт., кВт·ч	$W$ турб 2 конт., кВт·ч	$W_{\Sigma турб}$ , кВт·ч	$W_{ГПУ}$ , кВт·ч	$W_{\Sigma}$ , кВт·ч	$\tau_{эл.эн.}$ , ч
2,5	54,0	25,7	4,2	16,0	16,2	36,4	4303,4	4339,8	4,3
5	27,0	25,4	12,6	16,5	16,5	45,6	4766,2	4811,8	4,7
10	13,5	24,6	25,4	9,7	18,0	53,1	5147,8	5200,9	5,1
15	9,0	24,8	36,0	3,7	19,0	58,8	5360,2	5418,9	5,3
20	6,7	25,6	45,3	2,8	17,5	65,7	5466,6	5532,3	5,4
30	4,5	26,4	54,3	1,9	11,0	67,2	5572,5	5639,7	5,5

Для объективной оценки использования низкопотенциального тепла СПГ в установке на основе ЕКЗ предлагается использовать следующие показатели:

1.  $\Omega_m$  – удельное количество дополнительной энергии, кВт·ч / кг:

$$\Omega_m = \frac{W_{\Sigma}}{m},$$

где  $W_{\Sigma}$  – количество дополнительной энергии, кВт;  $m$  – масса газа в ЕКЗ кг.

2.  $\Omega_p$  – удельное количество дополнительной энергии с учетом давления газификации, кВт·ч / (кг·МПа):

$$\Omega_p = \frac{W_{\Sigma}}{p \cdot m}$$

где  $p$  – давление газа в ЕКЗ после газификации СПГ, МПа.

3.  $\Omega_v$  – удельное количество дополнительной энергии с учетом объема ЕКЗ, кВт·ч / (кг·м<sup>3</sup>):

$$\Omega_v = \frac{W_{\Sigma}}{V \cdot m}$$

где  $V$  – объем ЕКЗ, м<sup>3</sup>.

Результаты сравнительного расчета приведены на рисунке 2.

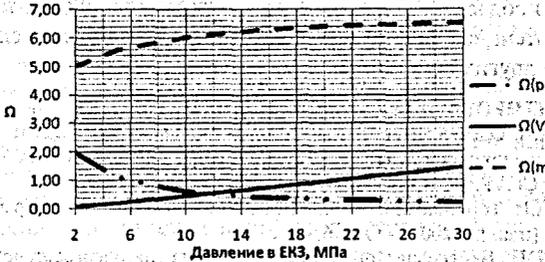
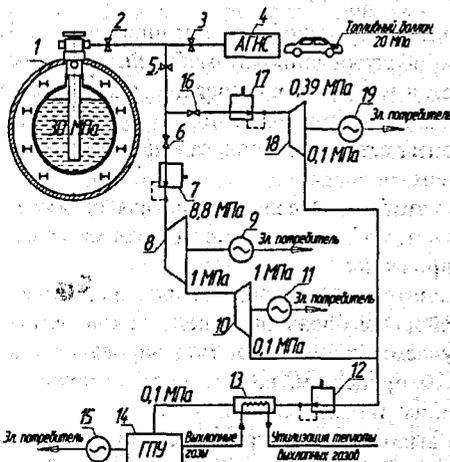


Рисунок 2 – Результаты сравнительного расчета теплоотрицательной установки

Данные показатели позволяют объективно оценить потенциальные возможности получения дополнительной энергии при использовании криопродуктов с последующей их регазификацией в ЕКЗ с учетом эксплуатационных ограничений и расхода рабочего тела. На основании вышеизложенного можно сделать вывод о перспективности предлагаемого технического решения и о возможности его применения в различных областях техники.

На основе схемы, рассмотренной выше, была спроектирована теплоотрицательная установка, служащая для заправки автомобилей природным газом [1]. Схема установки представлена на рисунке 3.



- 1 – ёмкость с криогенной заправкой (ЕКЗ); 2 – задвижка; 3 – задвижка;
- 4 – автозаправочная станция;
- 5 – задвижка; 6 – задвижка;
- 7 – редуктор на 10 МПа;
- 8 – турбина с  $\pi_r^* = 8,8$ ;
- 9 – электрогенератор; 10 – турбина с  $\pi_r^* = 10$ ; 11 – электрогенератор;
- 12 – редуктор на 0,1 МПа;
- 13 – теплообменник;
- 14 – газопоршневая установка (ГПУ); 15 – электрогенератор;
- 16 – задвижка; 17 – редуктор на 1 МПа; 18 – турбина с  $\pi_r^* = 3,9$ ;
- 19 – электрогенератор

Рисунок 3 – Принципиальная схема комбинированной теплоотрицательной установки

Полученные результаты показали, что оптимальная степень расширения для первой турбины в первом контуре составит  $\pi_m^* = 8,8$ ; для второй турбины в первом контуре  $\pi_m^* = 10$ ; для турбины второго контура  $\pi_m^* = 3,9$ .

Общее количество выработанной электрической энергии составит 3825,22 кВт·ч в течение 225 мин. Время работы теплоотрицательной установки, включая время газификации метана в ЕКЗ, время заправки автомобилей и время выработки электроэнергии, составит 24 ч.

Таким образом, проведенные расчеты показывают перспективность исследования в данной области развития энергетических установок, а также позволяют реализовать потенциал энергосбережения при использовании сжиженного природного газа и других криогенных жидкостей.

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Довгялло, А.И. Оценка возможности применения теплоотрицательной энергетики в комплексах сжиженного природного газа / А.И. Довгялло, Д.В. Сармин, Д.А. Угланов, А.А. Шириманов // Вестник СГАУ. – 2013. – №3. – С. 93-98.
2. Довгялло, А.И. Топливный баллон: пат. 2163699, Российская Федерация / А.И. Довгялло, С.В. Лукачев [и др.]. – 2001. – Бюл. 6. – 3 с.
3. Алексеев, Г.Н. Прогнозное ориентирование развития энергоустановок. – М.: Наука, 1978. – 200 с.

УДК 629.113:004.94

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК МОДЕЛИРОВАНИЯ СРЕДСТВ ОБЛУЖИВАНИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

*Монтик С.В., Санюкевич Ф.М.*

Брестский государственный технический университет,  
Брест, Республика Беларусь

При проектировании и реконструкции автотранспортных предприятий (АТП) возникает задача оптимизации средств обслуживания автомобилей, т. е. определение оптимального количества постов зон диагностирования, технического обслуживания (ТО), текущего ремонта автомобилей по критерию минимальных суммарных затрат на содержание производственного подразделения и потери прибыли от простоя автомобилей.

Наиболее широко используемыми методами моделирования для оптимизации структуры средств обслуживания автомобилей являются теория массового обслуживания и имитационное моделирование.

Целью данной работы является сравнительный анализ методик моделирования средств обслуживания автомобилей для выбора наилучшей для конкретных условий на основании сравнения получаемых результатов моделирования, адекватности реальным производственным процессам, возможности выполнения оптимизации структуры производственных подразделений.

Сравнение методик моделирования выполнялось на примере моделирования зоны первого технического обслуживания (ТО-1) автобусов комплексного авто-