

**BULLETIN OF NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

ISSN 1991-3494

Volume 1, Number 359 (2016), 26 – 31

**RESEARCH TO FIND THE OPTIMAL DESIGN  
OF GAS TURBINES IN THE VIRTUAL-INTERACTIVE MODEL  
TO INCREASE EFFICIENCY**

**A. M. Tatenov, I. V. Osipov**

Eurasian technologies university, Almaty, Kazakhstan.  
E-mail: tatenov\_adambek@mail.ru

**Keywords:** virtual-interactive model, gas turbine units (GTU), efficiency (efficiency), gaseous (GOV), the impact of the law of circulation, the diffuser.

**Abstract.** The results of the study virtual- interactive model of gas turbine, in order to find the optimal variant of the blade design for a possible increase in gas turbines. To calculate the accelerating nozzles between the blades , used the theory of the impact law of circulation L. A. Vulis and configurations are possible in the accelerating nozzles GOV subsonic velocity.

УДК 602.3.665.7

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ  
КОНСТРУКЦИИ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК  
НА ВИРТУАЛЬНО-ИНТЕРАКТИВНОЙ МОДЕЛИ  
ПО УВЕЛИЧЕНИЮ КПД**

**А. М. Татенов, И. В. Осипов**

Евразийский технологический университет, Алматы, Казахстан

**Ключевые слова:** виртуально-интерактивная модель ,газотурбинные установки (ГТУ), КПД (коэффициент полезного действия), газообразное вещество (ГОВ), закон обращения воздействия, диффузор.

**Аннотация.** В статье приведены результаты исследования виртуально-интерактивной модели ГТУ, для нахождения оптимального варианта конструкции лопастей для возможного увеличения ГТУ. Для расчета ускоряющего сопла между лопастями, использована теория обращения воздействия Л.А. Вулиса, и приведены возможные конфигурации ускоряющих сопел в дозвуковых скорости потока ГОВ.

**Введение.** Создание виртуально-интерактивной модели газотурбинной установки с изменяющейся конструкцией и измерительных приборов к ней, и на их основе проведение исследований по увеличению к.п.д. установки. Достигение виртуально-интерактивных исследований свойств газотурбинной установки позволит получить новую конструкцию установки, значительно более эффективную по сравнению со всеми существующими газотурбинными установками.

Применение интерактивных моделей для исследования и выбора параметров процессов для практического построения методов и устройств позволяет значительно сократить сроки и качество перехода к построению практических установок. Запланированные работы позволят получить основные параметры и рекомендации нефтедобывающим, а также конструкторам по проектированию газотурбинной установки с увеличением КПД.

Исследования прикладных задач науки на виртуально-мультимедийной, интерактивной модели на компьютере в литературе не встречаются.

Впервые ставится вопрос исследования на виртуально-интерактивный модели прикладных задач науки на компьютере.

В перспективе, на основе результатов исследований, методы виртуально-мультимедийной интерактивной технологий исследования других инженерных прикладных задач в тандеме:

Программист + научный исследователь области применения могут расширяться до получения моделей теоретических задач науки. Создание композиционной виртуально-мультимедийной, интерактивной модели дает возможность расширения рассматриваемой задачи за счет дополнительных опций. Большинство дополнительных опций поддерживаются композиционным симулятором ECLIPSEUnityPro.

**Математические расчеты КПД газотурбинных установок 2-х ступенчатых отражателей набегающего потока газа, учет в виртуальной модели результатов расчета.** Построить виртуально-интерактивную модель одноступенчатой газотурбинной установки, (ГТУ) с обдувом газового потока, с учетом проведения измерения скорости потока газа до соударения с лопастями ГТУ и измерение скорости потока газа после соударения с лопастями ГТУ [2, 29], т.е. отраженного от лопастей потока газа. Если, измеренная скорость газового потока равна  $V_n$ , то расчетная оптимальная окружная скорость движения турбины равна:

$$V_{nm} = \frac{V_n}{2} \quad (1)$$

Таким образом, наиболее максимальное использование мощности газообразного вещества ГОВ (ГОВ - может быть пар, продукты горения горючей смеси, или сжатый воздух и другие газообразные смеси используемые как рабочие тела) возможно при окружной скорости турбины равной половине скорости потока ГОВ и равно:

$$P_{mcpl.maks} = pSV_n^3 / 4 \quad (2)$$

Эта мощность распространяется на турбины, не использующие отраженную скорость газообразного вещества(ГОВ), то есть для 1-й ступени.

2-ая ступень ГТУ.

Для использования отраженной скорости ГОВ необходимо усложнить конструкцию турбины таким образом, чтобы оптимальная окружная скорость лопастей следующей-2-ой ступени турбины соответствовало отраженной скорости, от 1-ой ступени, в виде:

$$V_{2cm.myp.} = V_{1otr.} / 2 = V_n - V_{nm} / 2 \quad (3)$$

С учетом того, что отраженная скорость ГОВ при оптимальной окружной скорости первой ступени турбины равна половине скорости при выходе его из сопла, окружная скорость последующей 2-ой ступени  $V_{2cm.myp.}$  должна равняться половине отраженной от предыдущей ступени скорости ГОВ  $V_{1otr.}$ .

Тогда мощность, развиваемая на второй ступени:

$$P_{2cm.myp.} = \rho SV_n(V_n - V_{nm} - V_{2cm.myp.})V_{2cm.myp.} \quad (4)$$

Подставив выражение (1) и (3) в выражение (4), получаем:

$$P_{2cm.myp.maks} = pSV_n^3 / 16 \quad (5)$$

Проделав такой расчет мощности следующей третьей ступени, получим следующее:

$$P_{3cm.myp.maks} = pSV_n^3 / 64 \quad (6)$$

Суммарная мощность равна сумме мощностей 1-й, 2-й и 3-й ступеней:

$$P_{sum} = P_{1st.mcpl.maks} + P_{2st.turp.maks} + P_{3st.turp.maks} \quad (7)$$

1. КПД (коэффициент полезного действия) лопастей газотурбины на 1-й ступени без использования отражений равна:

$$\eta = P_{1st.mcpl.maks} / P_{общ.потока} = (pSV_n^3 / 4) / (pSV_n^3 / 2) = 0,5 \cdot 100\% = 50\%$$

2. КПД лопастей газотурбины на 1-й ступени и 2-й ступеней равна:

$$\eta = (P_{1\text{ст.макс}} + P_{2\text{ст.тurb.макс}})/P_{\text{общ.потока}} = ((pSV_n^3/4) + (pSV_n^3/16)) / (pSV_n^3/2) = 0,625 \cdot 100\% = 62,5\%,$$

таким образом, 2-я ступень в конструкции дает прибавку на КПД в 12, 5%, что существенно целесообразно.

3. КПД лопастей газотурбины только на 3-й ступени дает прибавку лишь в 3%, так что в конструкцию предусматривать 3-ю ступень не целесообразно.

**Расчет скорости потока газа через ускоряющее сопло Лаваля, расчет по закону обращения воздействия Л. А. Вулиса, и его рекомендации по конструкции ГТУ.** При различных воздействиях на поток газа, как воздействия влияют на скорость газа, на температуру на давление, на плотность и др. полностью рассмотрены в закон обращения воздействия открытый Вулисом Л.А. в 1946 г. [3]. Под воздействием здесь понимается, если изменить геометрию сопла протекания газа, или изменять только массу потока газа, или изменять подвод наружного тепла, и т.д. и как они влияют на изменение скорости потока, давления, плотность, температуры. В формулах фигурируют такие воздействия: F - площадь сечения сопла, m - масса газа, Q<sub>нап</sub>-тепло подведенное снаружи, Z - работа газа или над газом, Z<sub>тр</sub> - работа сил трения. Мы получаем ряд уравнений для изменения скорости потока, давления, температуры плотности как :

$$\frac{dv}{v} (M^2 - 1) = \frac{dF}{F} \frac{dm}{m} \frac{dz}{a^2} \frac{v}{a^2} dz_{\text{тр}} \frac{v-1}{a^2} dQ_{\text{нап}}$$

Это закон обращение воздействия для скорости, здесь M - число Маха;  $M = \frac{V}{a}$  - скорость потока газа, а - скорость звука в газе  $V = \frac{C_p}{C_v}$  - отношение теплоемкостей газа при постоянном давлении С<sub>p</sub> и С<sub>v</sub> - при постоянном объеме

Закон обращение воздействия для давления потока газа:

$$(M^2 - 1) \frac{dP}{p} = \frac{PV^2}{P} \left[ \frac{dF}{F} \right] \frac{dz}{v^2} - \left( \frac{1}{v^2} \left| \frac{v-1}{a^2} \right| \right) dz_{\text{тр}} \frac{v-1}{a^2} dQ_{\text{нап}}$$

есть для изменений плотности, температуры. Но нас интересуют только Закон обращение воздействия для изменений скорости газового потока в зависимости от различных воздействий а.

В газотурбинной установке после 1-ой ступени [1.2] отраженный от лопастей газ или пар попадает в неподвижной ступени, будут сопла Лаваля, как увеличится выходная скорость из сопел и попадая на лопасти 2-ой крутящейся ступени, насколько увеличат КПД. Поэтому мы в законе обращения воздействии будем рассматривать только геометрическое воздействие на изменение скорости потока, а остальные воздействия считаем равным нуля т.е. dm=dz=dz<sub>тр</sub>=dQ<sub>нап</sub>=0. Тогда из уравнения для скорости останется только:

$$(M^2 - 1) \frac{dv}{v} = \frac{dF}{F}.$$

Более точнее если рассмотрены расчет течения в идеальном сопле Лаваля, там получим еще конкретнее зависимость изменения скорости от изменения площади сечения т.е.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{P_2 * V_2}{V_1 * P_1}; * \text{ или } \frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1 * F_1}{P_2 * F_2},$$

в нашем случае P=P<sub>2</sub>=P const тогда

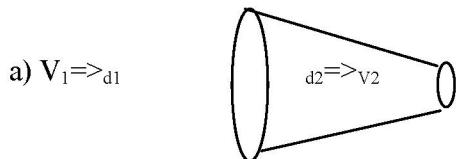
$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{F_1}{F_2}; \rightarrow V_2 = V_1 * \frac{F_1}{F_2};$$

Если диаметр входного сопла равен 4 см = d<sub>1</sub> диаметр d<sub>2</sub> – выходного сопла равен 2 см = d<sub>2</sub> тогда в идеале должно быть:

$$V_2 = V_1 * \frac{d_1^2}{d_2^2} = V_1 \frac{16}{4} = 4V_1;$$

V<sub>2</sub>= 4V<sub>1</sub> → в реальности будет намного меньше чем 4 раза. Конфигурация сопла будет только диффузор т.е.

Закон обращение воздействие рекомендует сопло делать в виде диффузора т.е. воронки.



Геометрия сопла переходит в диффузор т.е. как воронка.

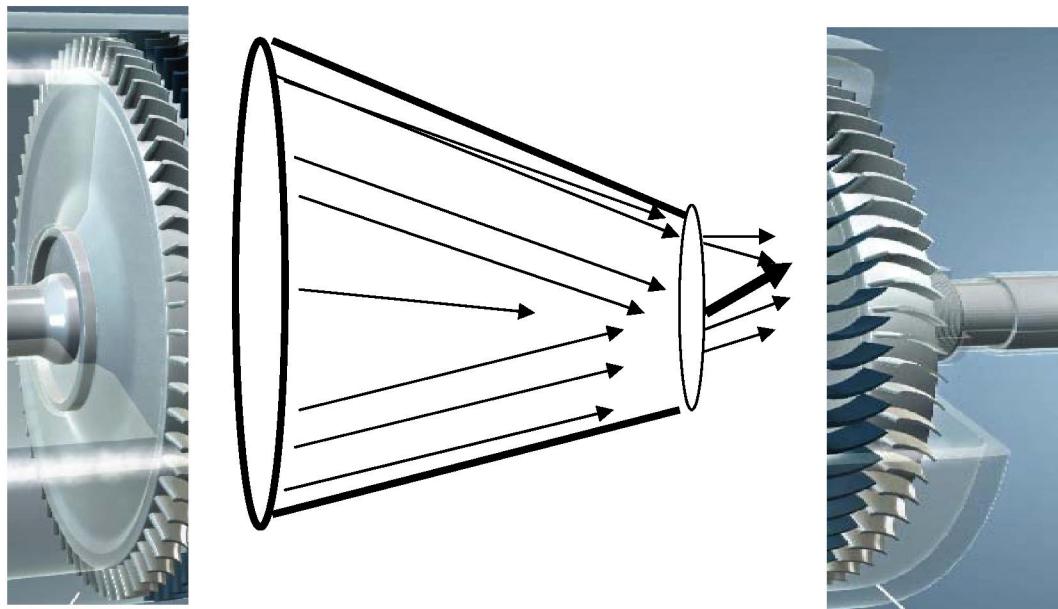


Рисунок 1 – Отраженный поток газа от 1-ой ступени ГТУ собирается в сопло – воронке, поток ускоряется и направляется на 2-ю ступень ГТУ. КПД в среднем в пределах 67-70 %

На рисунке 1 вместо неподвижного отражателя и направляющего колеса, между рабочими колесами установлено диффузорное сопло в виде воронки собирающее отраженный поток газа от лопастей 1-ой ступени.

**Создание виртуально-интерактивной модели газотурбинных установок различной конструкции.** На рисунке 2 показана модель двух рабочих колес сидящих на разных валах, и вращение происходит в противоположных направлениях, и каждое рабочее колесо автономно вращает свой электрогенератор. С правой стороны в увеличенном виде показаны лопасти где расположены тензодатчики, показывающее давление в  $\text{н}/\text{м}^2$  в начале, середине и конце лопастей как в 1-ой ступени так и во 2-ой ступени.

Более распространенная конструкция, рисунок 3, когда на одном валу сидят два рабочих колеса 1 и 2-ая ступени, посередине неподвижное колесо, лопасти которого играют роль направляющего отражателя газового потока от

1-ой ступени на 2-ю ступень которое вращается также в одном направлении с 1-ой ступенью (с 1-ым рабочим колесом с лопастями).

Общее КПД 58-60 % в зависимости от скорости потока газа или газообразного вещества (ГОВ).

Скорость общего потока на виртуально-интерактивной модели регулируется желтой кнопкой, которая показана внизу рисунка 2 и 3.



Рисунок 2 – Конструкция 2-х ступенчатой газотурбинной установки, КПД от двух ступеней - 62,5%, на участках лопастей показаны измеренное давление динамического напора потока газа

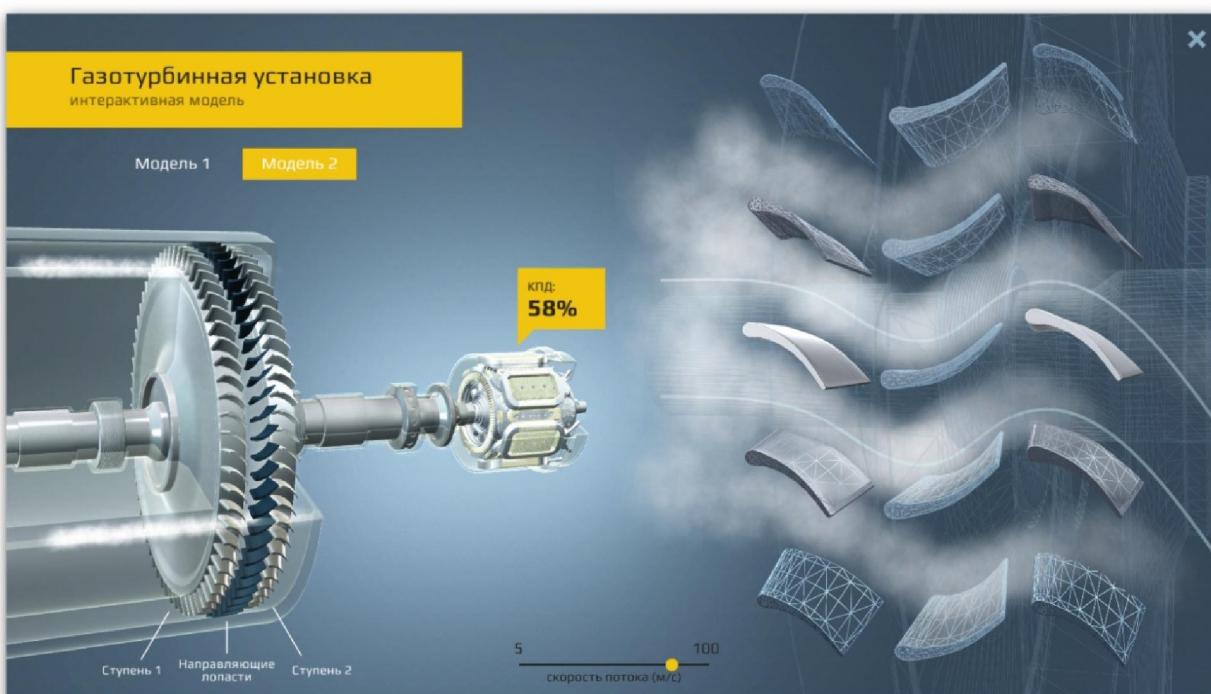


Рисунок 3 – Оптимальная конструкция с неподвижным направляюще-отражательным колесом между двумя вращающимися в одну сторону рабочими колесами .КПД - 58-60%

**Заключение.** Виртуально-интерактивная модель газотурбинной установки (ГТУ) полностью смоделирована на основе исследования математической модели ГТУ, математических расчетов КПД ГТУ с 2-х ступенчатой конструкцией, расчета скорости потока газа через ускоряющее сопло Лаваля, согласно закону обращения воздействия Л.А. Вулиса и после анализа выявлена конструкция направляющего отражателя.

Анализ математической модели 2-х и 4-х ступенчатых конструкций ГТУ проведен в работах [2, 4], а так же конструкцию направляющего отражателя предложена в работе [2] (патент на изобретение). В данной виртуально-интерактивной модели имеются 2 вида конструкций с измерителями давления на лопастях. На модели 1 показан мультимидийный макет одно и двух ступенчатых конструкций. На модели 2 показана конструкция, где на одном валу установлены движущиеся два рабочих колеса с лопастями, а между ними имеется неподвижное колесо с лопастями для приема отраженного от I-ой ступени газового потока и для направления газового потока во II-ую ступень ГТУ. Оба рабочих колеса врачаются в одну сторону. Общий коэффициент полезного действия в пределах 58-60%. В этой конструкции имеются потери энергии потока газа через неподвижные отражатели потока.

Для исключения потерь, в конструкцию вводится ускоряющее сопло Лаваля, рассчитанный по Закону обращения воздействия [3], которое существенно увеличивает КПД, в пределах 67-70%.

На основании вышесказанных анализов рекомендуется изменить конструкцию ГТУ, где вместо неподвижных направляющих-отражателей и направляющих лопастей установить одно собирающее сопло в виде диффузора между двумя ступенями или множество малых диффузоров-сопел, расположенных по периметру неподвижного колеса. Сопло-диффузор в 1, 5-2 раза ускоряет поток, за счет этого возрастает КПД ГТУ, что видно из расчета сопла.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Татенов А.М. и др. Виртуально-интерактивные методы исследования увеличения нефтеотдачи пластов и конструкции газотурбин по увеличению энергоотдачи на основе информационных технологий: промежуточный отчеты по НИР №0213РК02613. – Алматы, 2013. – С. 54-61.
- [2] Мунсызбай Т.М. и др. Авторское свидетельство №21230 на изобретение «Паровая турбина». Приоритет от 29.04.2008 г.
- [3] Вулис Л.А. Термодинамика газовых потоков. – М.-Л.: Госэнергоиздат, 1950. – С. 58-72.
- [4] Мунсызбай Т.М., Дженалиев М.Т., Мунсузбаев М.Т. Об эффективном использовании энергии окружающей среды // Свидетельство о регистрации интеллектуальной собственности № 0802РК00016 от 19.09.2002.

## REFERENCES

- [1] Tatenov A.M. i dr. Virtual'no-interaktivnye metody issledovanija uvelichenija nefteotdachi plastov i konstrukcij gazo-turbin po uvelicheniju jenergootdachi na osnove informacionnyh tehnologij: promezhutochnyj otchet po NIR №0213RK02613. – Almaty, 2013. – S. 54-61.
- [2] Munsyzbaj T.M. i dr. Avtorskoe svidetel'stvo №21230 na izobretenie «Parovaja turbina». Prioritet ot 29.04.2008 g.
- [3] Vulis L.A. Termodinamika gazovyh potokov. – M.-L.: Gosjenergoizdat, 1950. – S. 58-72.
- [4] Munsyzbaj T.M., Dzhenaliev M.T., Munsuzbaev M.T. Ob effektivnom ispol'zovanii jenergii okruzhajushhej sredy // Svidetel'stvo o registracii intellektual'noj sobstvennosti № 0802RK00016 ot 19.09.2002.

## ГАЗТУРБИНАЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫЛАРЫНЫң ПӘК-ИН ӨСИРУ МАҢСАТЫНДА, ШІКІҚҰРЫЛЫСЫН ВИРТУАЛДЫ-ИНТЕРАКТИВТІ МОДЕЛЬДЕ ӨЗГЕРТУ АРҚЫЛЫ ЗЕРТТЕУ

**А. М. Татенов, И. В. Осило**

Еуразия технологиялық университеті, Алматы, Қазакстан

**Тірек сөздер:** пайдалы эсер коэффиценті (ПӘК), газтурбиналық қондырғы (ГТК), турбина қалакшалары, Мах саны, ЛАВАЛЬ соплосы эсер ету заңының қайтарылымы, диффузар, конфузар, тензореше виртуалды-интерактивті модель, кері қайтарғыш қалақша.

**Аннотация.** Макалада газтурбиналық қондырғының қалакшалары соғылып кері қайткан газ ағымының энергиясын кеңістікке босқа жібермей, басқа қалакша арқылы ұстап іске асыру. Осы максатта, газтурбинлық қондырғының құрылымын, әртүрдеге өзгерту арқылы зерттеу үшін компьютерде ГТК-ның виртуалды-интерактивті модельіндеге газ ағымы жылдамдықтарын өлшеу арқылы оптималды, конструкциясын табу және ПӘК-н максималды өскенін таңдау алу. Кері қайтарғыш қалакша қондырғыларынан кейін Лаваль соплосы және диффузар, орнату арқылы газ ағымын үдете Л. А. Вулистиң «Эсер етудің кері қайтарылым» - заңын пайдалана отырып, есептеп, тиімді соплоны таңду және конструкцияға енгізіп виртуалды өлшемдер алып, тиімділігін зерттеу қарастырылған.

Поступила 10.02.2016 г.