

УДК 621.56; 697.9

## **Верификация численного моделирования течения хладоносителя в буферном баке системы холодоснабжения**

Канд. техн. наук. **Тимофеевский А.Л.** alt1960@mail.ru

**Бороздкин С.В.** b-s-v-7@ya.ru

Университет ИТМО

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

**Сайфуллин Т.И.**

Крыловский государственный научный центр

196158, г. Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44

*Компрессорные водоохлаждающие машины (чиллеры) широко используются в различных отраслях промышленности. Одной из основных причин сокращения ресурса, а иногда и выхода компрессора из строя является его работа короткими циклами. В системах холодоснабжения с чиллерами рекомендуется защищать компрессоры от частых включений путем использования буферных емкостей, однако имеются определенные противоречия в рекомендациях по внутреннему устройству буферных баков, требующие проведения численного моделирования течения в них хладоносителя. Целью моделирования является сравнение времени передачи буферными емкостями разных конструкций колебаний температуры хладоносителя. Авторами выполнено сопоставление данных, полученных при экспериментальном исследовании и численном моделировании гидродинамики течения хладоносителя в буферной емкости системы холодоснабжения, и сделан вывод об их хорошем соответствии, что дает возможность в дальнейшем использовать использованную численную модель для расчета емкостей разных конструкций и размеров.*

*Выполнено сопоставление данных, полученных при экспериментальном исследовании и численном моделировании гидродинамики течения хладоносителя в буферной емкости системы холодоснабжения.*

*Ключевые слова:* буферный бак, чиллер, хладоноситель, эксперимент, численное моделирование.

---

## **Verification of computer simulation of a flow of a coolant in a buffer tank of cooling system**

Ph.D. **Timofeevskiy A.L.** alt1960@mail.ru

**Borozdkin S.V.** b-s-v-7@ya.ru

University ITMO

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

**Saifullin T.I.**

Krylovsky state scientific center

191002, Russia, St. Petersburg, Moskovskoye Highway, 44

*The compressor water-cooling cars (chillers) widely are used in various industries. One of the main reasons for reduction of a resource, and sometimes and a compressor discharge its work as short cycles out of operation is. In systems of cold supply with chillers it is recommended to protect compressors from fre-*

*quent inclusions by use of buffer capacities, however there are certain contradictions in recommendations about the internal device of buffer tanks demanding carrying out numerical modeling of a current of hladositel in them. The purpose of modeling is comparison of time of transfer by buffer capacities of different designs of fluctuations of temperature of a hladositel. Authors executed comparison of the data obtained at a pilot study and numerical modeling of hydrodynamics of a current of a hladositel in the buffer capacity of system of cold supply and the conclusion is drawn on their good compliance that gives the chance in further to use the used numerical model for calculation of capacities of different designs and the sizes.*

*Comparison of the data obtained at a experimental study and numerical modeling of hydrodynamics of a flow of a coolant in buffer tank of system of cool-ing system.*

**Keywords:** buffer tank, chiller, coolant, experiment, numerical modeling.

Компрессорные водоохлаждающие машины (чиллеры) широко используются в пищевой, химической, нефтеперерабатывающей, металлургической, целлюлозно-бумажной, фармацевтической, текстильной и других отраслях промышленности. Много таких машин работает в энергетике, машиностроении и сельском хозяйстве. Надежность функционирования чиллера часто определяет надежность всей технологической цепи, в которую он встроен и закладывается на этапе проектирования системы [1]. Наименее надежным и самым дорогостоящим элементом чиллера является компрессор. Одной из основных причин сокращения ресурса, а зачастую и выхода компрессора из строя является его работа короткими циклами, приводящая к перегреву электродвигателя и выбросу смазки из картера в нагнетательный трубопровод [2]. В системах холодоснабжения с чиллерами рекомендуется защищать компрессоры от частых включений путем использования буферных емкостей [3].

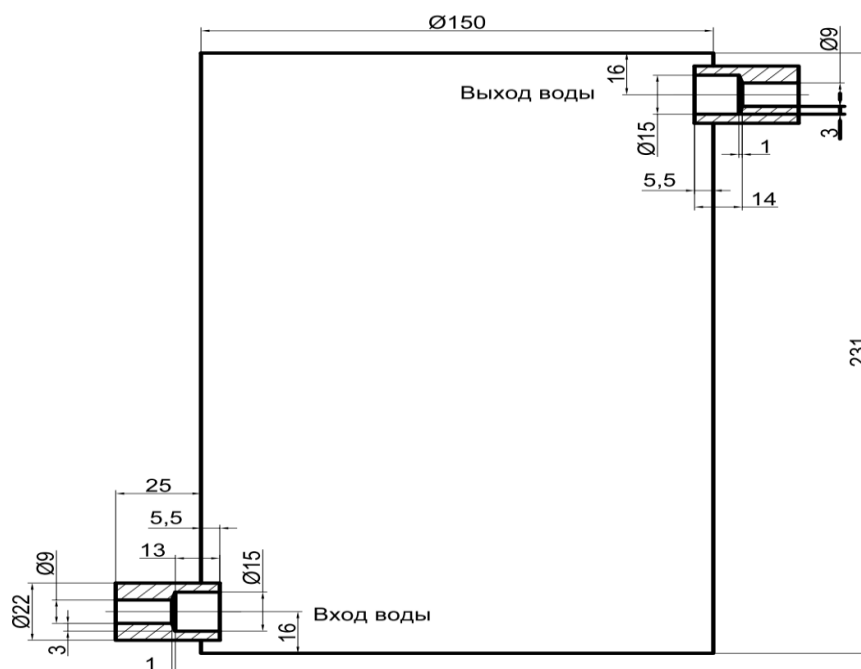
Авторы данной статьи ранее констатировали, что рекомендации разных производителей чиллеров по выбору значения минимального объема жидкости и внутреннему устройству буферных баков содержат противоречия [4-7] и пришли к выводу о необходимости проведения численного моделирования их гидродинамики [8],[9]. Целью моделирования является сравнение времени передачи буферными емкостями (баками) разных конструкций колебаний температуры хладоносителя (далее будем называть это временем "реакции" бака). Для верификации метода численного моделирования был создан экспериментальный стенд [2]. Экспериментальное исследование проводилось на модели вертикального цилиндрического буферного бака (рис.1) и на варианте такого бака с установленной внутри центральной перегородкой, не доходящей до верхней крышки 10 мм (рис.2).

Внутренний объем бака равнялся 4 л, отношение расхода воды к объему бака в опытах варьировалось в диапазоне от 50 до 150 л/ч. Скорость воды на входе в бак изменялась от 1 до 2,6 м/с, а  $T_{вх}$  - в диапазоне от 2,5 до 5°C.

Численное моделирование течения в баке выполнено решением системы уравнений Навье-Стокса, осредненных по критерию Рейнольдса. Расчет проводился методом конечного объема в нестационарном варианте постановки задачи. В качестве модели турбулентности была использована  $k-\omega$  SST модель Ментера. Для численного моделирования вся расчетная область разбивалась на элементарные объемы, и для каждого случая были сформированы расчетные сетки. Размерность каждой сетки составляла более 2 млн. ячеек полиэдральной формы. Построение расчетной сетки и дальнейшее численное моделирование проводилось с использованием пакета гидродинамического анализа STAR-CCM+.

При моделировании скачка температуры воды, входящей в буферный бак, в каждом отдельном расчете на начальном этапе формировалось стационарное течение в баке, при этом на входе задавалась начальная температура до скачка. И только после этого на срезе входного патрубка задавалось резкое изменение температуры входящей воды, и в ходе дальнейшего решения получались зависимости изменения во времени ее температуры и скорости на выходе из бака, а также визуализация режимов течения.

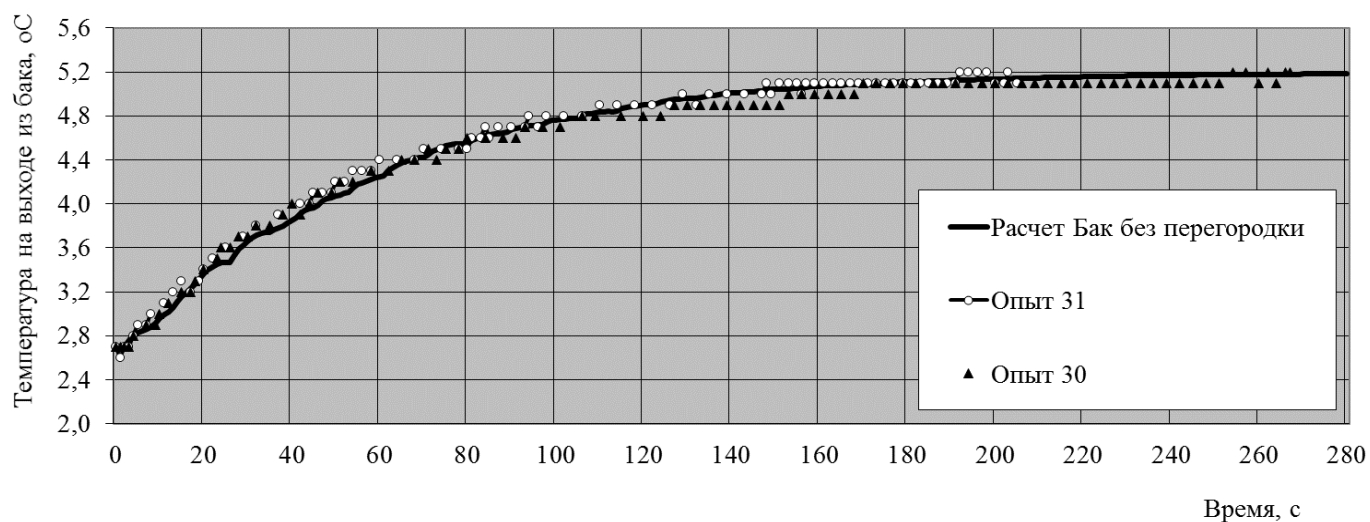
На рис. 3 - 6 сопоставлено опытное и расчетное время "реакции" бака на рост температуры входящей воды  $V_{вх}$  (сравнивались периоды времени между началом роста  $T_{вх}$  и окончанием роста  $T_{вых}$ ).



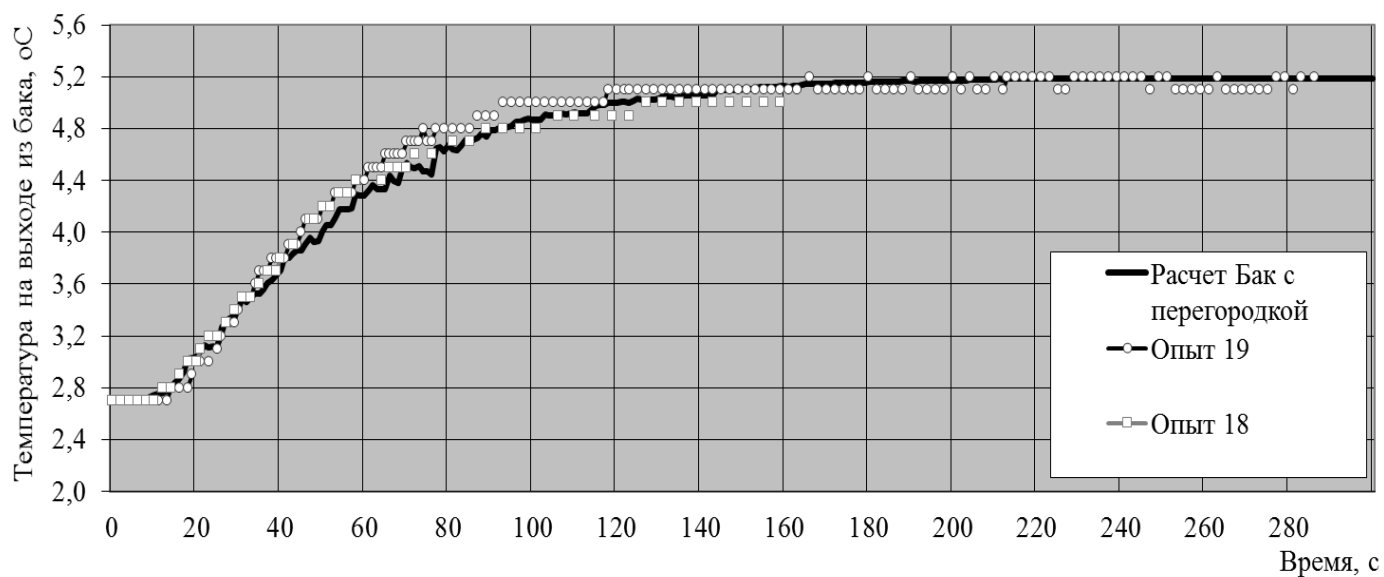
**Рис. 1. Чертеж экспериментального бака**



**Рис. 2 Фотографии моделей экспериментальных баков**



**Рис. 3** Сопоставление опытных и расчетных данных для бака без перегородки при  $V_{вх} = 1,1$  м/с



**Рис. 4** Сопоставление опытных и расчетных данных для бака с перегородкой при  $V_{вх} = 1,1$  м/с

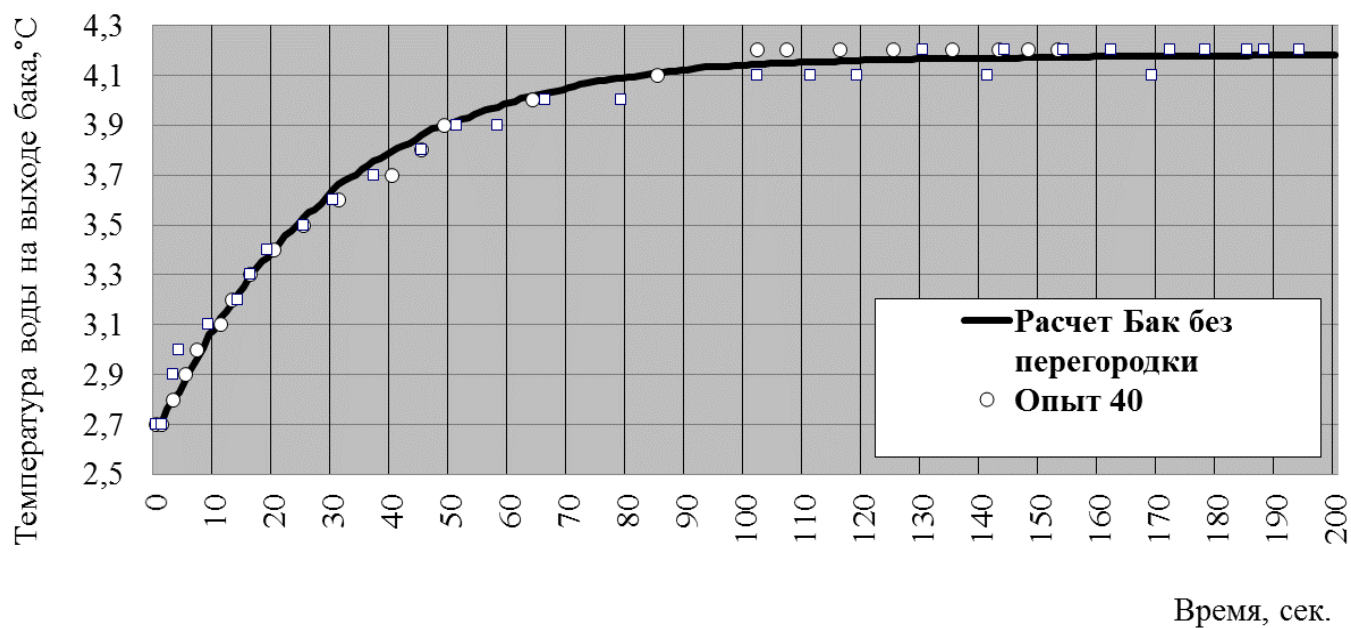


Рис. 5 Сопоставление опытных и расчетных данных для бака без перегородки при  $V_{вх} = 2,1$  м/с

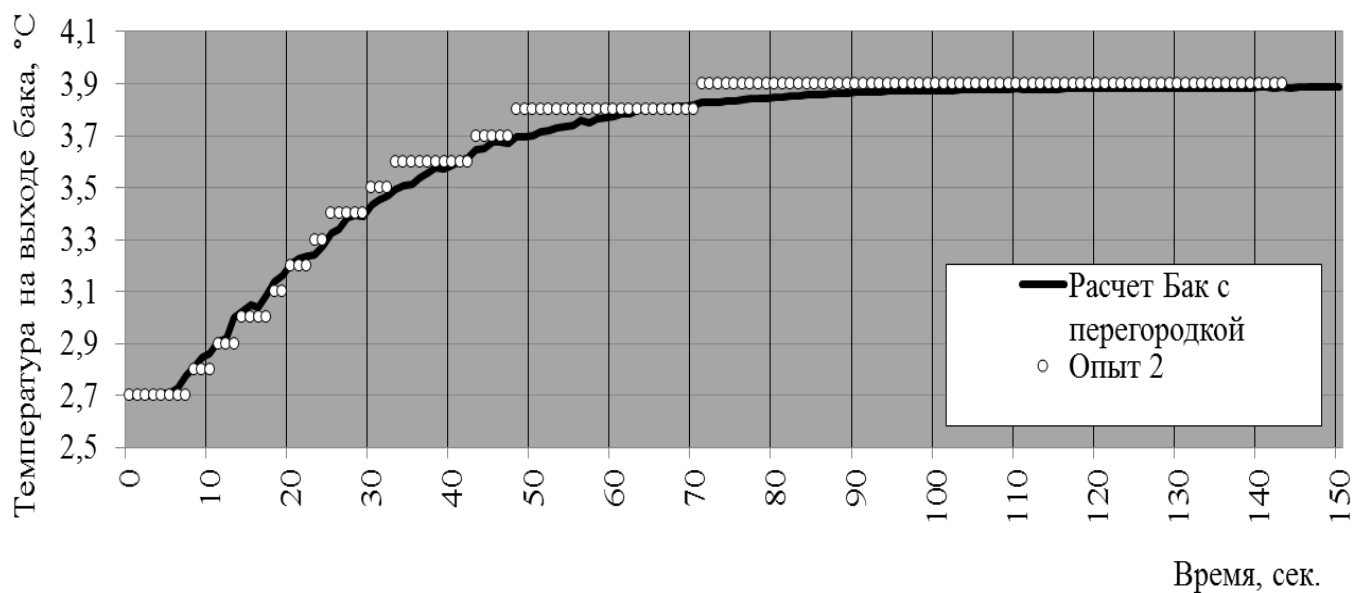
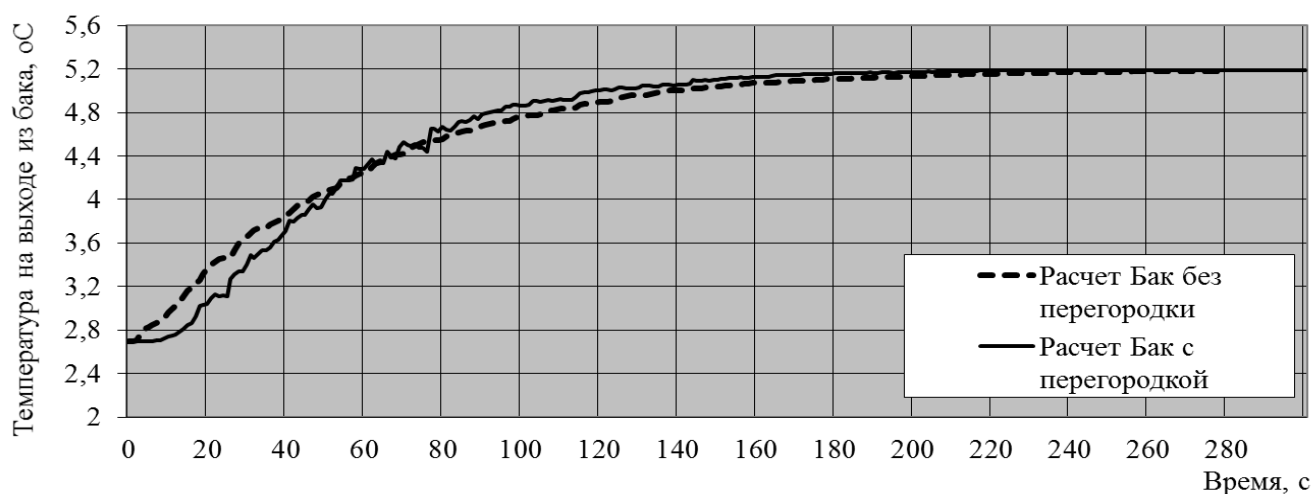


Рис. 6 Сопоставление опытных и расчетных данных для бака с перегородкой при  $V_{вх} = 2,1$  м/с

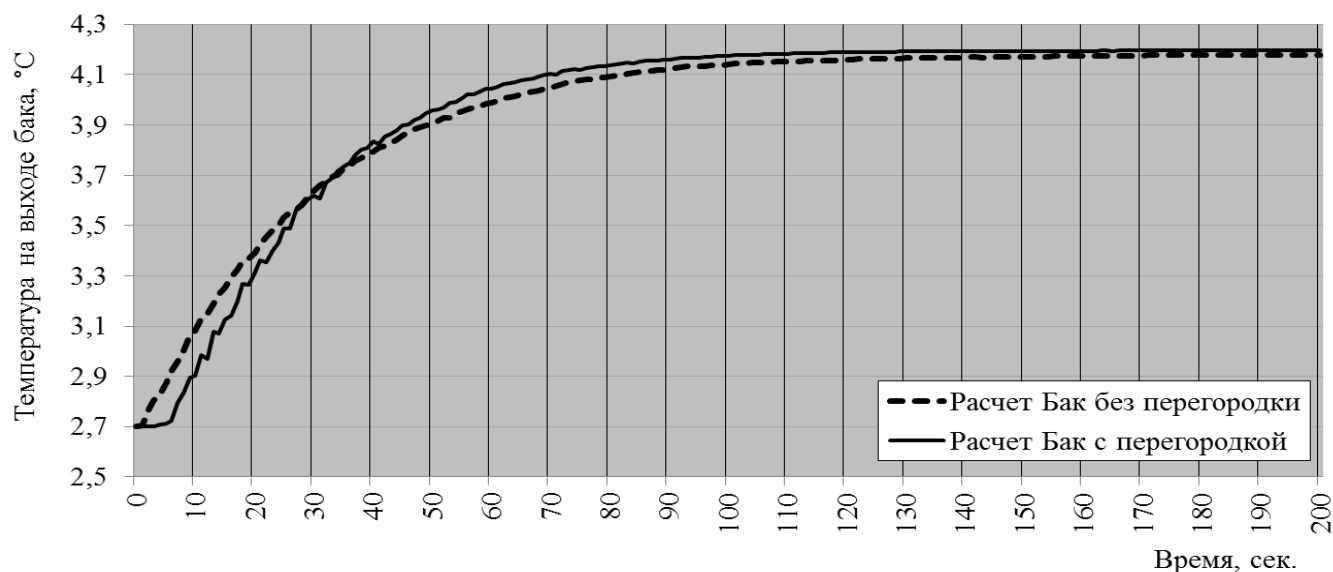
Приведенные выше графики позволяют сделать вывод о достаточно хорошем соответствии опытных и расчетных данных, что позволяет в дальнейшем использовать данную численную модель для расчета гидродинамики буферных емкостей разных конструкций и размеров.

На рис.7 - 9 сопоставлены расчеты времени "реакции" экспериментального бака с перегородкой и без нее на резкое повышение температуры входящей воды  $T_{вх}$ . Из рисунков 7 и 8 видно, что в баке с центральной перегородкой (сплошные линии) изменение температуры воды передается с входа на выход быстрее, чем в баке без перегородки (пунктир).

Из рис.9 следует, что время "реакции" бака прямо пропорционально его объему и обратно пропорционально расходу воды. Например, если в опытном баке скорость воды на входе уменьшается с 2,1 до 1,1 м/с (и, соответственно ее расход падает в 1,9 раза), то время передачи возмущения температуры увеличивается с 82 до 156 с, то есть также в 1,9 раза.



**Рис. 7 Сопоставление результатов расчета изменения  $T_{вых}$  в баке с перегородкой и без нее при  $V_{вх} = 1,1$  м/с**



**Рис. 8 Сопоставление результатов расчета изменения  $T_{вых}$  в баке с перегородкой и без нее при  $V_{вх} = 2,1$  м/с**

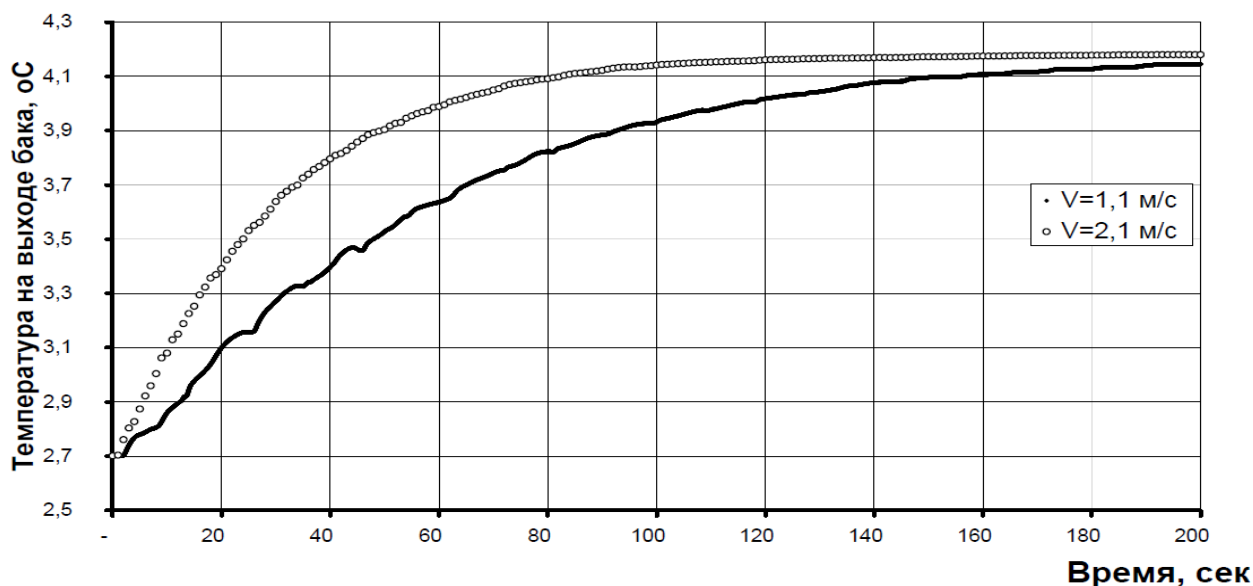


Рис. 9 Расчет времени “реакции” бака на скачок  $T_{вх}$  (бак без перегородки,  $V_{вх} = 1,1$  и  $2,1$  м/с)

#### Выводы:

1. Сравнение результатов эксперимента и численных расчетов передачи температурного возмущения в буферном баке позволяют сделать вывод о хорошем соответствии опытных и расчетных данных, что дает возможность в дальнейшем использовать данную численную модель для расчета гидродинамики буферных емкостей разных конструкций и размеров.
2. Время “реакции” бака заданного объема на скачок температуры на входе прямо пропорционально его объему и обратно пропорционально расходу воды через него.
3. Изменение температуры воды быстрее передается с входа на выход в баке с внутренней перегородкой.
4. Полученные данные свидетельствуют о необходимости проведения дальнейших численных расчетов течения хладоносителя в буферных емкостях различной конструкции.

#### Список литературы

1. В. Мааке, Г.-Ю. Эккерт, Ж.-Л. Кошпен. Учебник по холодильной технике. Пер. с франц. под ред. В.Б.Сапожникова, Изд-во Московского университета, М.: 1998.
2. П. Жаккар, С. Сандр Пособие для холодильщиков-практиков. Пер. с франц. под ред. В.Б.Сапожникова Изд-во ЗАО “Остров”, отпечатано ЗАО “Эдем”, 2003.
3. СП 60.13330.2012 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха. Актуализированная редакция СНиП 41-01-2003. Издание официальное. Министерство регионального развития Российской Федерации. Подготовлено к изданию ФАУ “ФЦС”, Москва, 2012, 76 с.
4. Технические данные чиллеров. EWAD-MBYNN: EEDRU09-409. Daikin.-2009. – 38 с.
5. М. Г. Тарабанов Холодоснабжение систем кондиционирования воздуха // АВОК.- 2007.- №8.
6. Инструкция по установке, работе и техническому обслуживанию. Воздухоохлаждаемые холодильные машины 30XA: Carrier.-2009.- 47с.
7. Майк Шведлер, Энн Ятес. Руководство для инженеров. Система, состоящая из нескольких чиллеров. Конструкция и регулирование. SYS-APM001-EN: Trane, 2000. – 96 с.

8. Бороздкин С.В., Тимофеевский А.Л., Сайфуллин Т.И. Проблемные аспекты конструирования буферной емкости системы холодоснабжения с промежуточным хладоносителем. Тезисы докладов XLIII научной и учебно-методической конференции НИУ ИТМО – 2014.
9. Тимофеевский А.Л., Сайфуллин Т.И., Евдокимов К.М. К вопросу о совмещении функций буферного бака и гидравлического разделителя в системах холодоснабжения с чиллерами // Холодильная техника и кондиционирование. 2012. № 2.

## References

1. V. Maake, - Yu.Ekkert, Zh. - L-Koshpen Uchebnik on refrigerating equipment. The lane with fr. under the editorship of V. B. Sapozhnikov, Publishing house of the Moscow university, M.: 1998
2. P. Jacquard, S. Sandr Posobiye for holodilshchikov-experts. The lane with JSC Ostrov, fr. under the editorship of V. B. Sapozhnikov Izd-vo, printed JSC Edem, 2003
3. Joint venture 60.13330.2012 Heating, ventilation and air conditioning. The staticized edition Construction Norms and Regulations 41-01-2003. Official publication. Ministry of Regional Development of the Russian Federation. 2012, 76 pages are prepared for the edition FAU "FTsS", Moscow.
4. Specifications of chillers. EWAD-MBYNN: EEDRU09-409. Daikin.-2009. – 38 pages.
5. M. G. Tarabanov Holodosnabzheniye of air conditioning systems // AVATARS. - 2007. - No. 8.
6. Instruction on installation, work and maintenance. Air-cooled refrigerators 30XA: Carrier.-2009. - 47s.
7. Mike Shvedler, Ann Yates. The management for engineers. The system consisting of several chillers. Design and regulation. SYS-APM001-EN: Trane, 2000. – 96 pages.
8. Borozdkin S.V., Timofeevsky A.L., Saifullin T.I. Problem aspects of designing of buffer capacity of system of cold supply with an intermediate hladonositel. Theses of reports of XLSh scientific and the NIU ITMO educational and methodical conference – 2014.
9. Timofeevsky A.L., Saifullin T.I., Evdokimov K.M. To a question of combination of functions of a buffer tank and a hydraulic divider in systems of cold supply with chillers // *Refrigerating equipment and conditioning*. 2012. №2.