

**2-бөлім****Раздел 2****Section 2****Механика****Механика****Mechanics**

ӘОЖ 533.6

Туралина Д.Е. \*, Майханова А.Қ. \*\*

Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,  
Қазақстан Республикасы, Алматы қаласы

E-mail: \*Dinara.Turalina@kaznu.kz, \*\*maykhanova.akmarzhan@mail.ru

**Параллель орналасқан екі биік ғимараттың аэродинамикасын зерттеу**

Бұл мақалада параллель орналасқан биік екі ғимарат аэродинамикасы бойынша жүргізілген зерттеулер нәтижесі баяндалады. Зерттеу сандық әдіс арқылы Comsol Multiphysics бағдарламасында жүргізілді. Алдымен зерттелетін жұмыс аймағы ретінде COMSOL Multiphysics бағдарламасында тіктөртбұрышты аэродинамикалық құбырдың пішіні салынды. Оның ішіне өзара параллель (қатар) орналасқан, биіктіктері әр түрлі екі ғимараттың пішіндері тұрғызылды. Ғимаратқа әсер ететін жел әсерін бақылау үшін COMSOL Multiphysics бағдарламасында ауа ағынын турбулентті, қозғалыс стационар емес деп қарастырылды. Есеп сығылмайтын сұйыққа арналған Навье-Стокс теңдеуіне RANS (Reynolds-averaged Navier-Stokes) әдісі қолданылып шығарылды. Есептеулер ғимараттардың бір-бірінен арақашықтығын өзгерте отырып жүргізілді, нәтижелері салыстырылды.

**Түйін сөздер:** аэродинамика, биік ғимараттар аэродинамикасы, ғимаратты ауаның ағып өтуі, жылдамдықтың таралуы, қысымның таралуы, COMSOL Multiphysics бағдарламасы, RANS(Reynolds-averaged Navier-Stokes).

Turalina D.E., Maihanova A.K.

**The investigations of aerodynamics of two parallel high-rise buildings**

This article presents the results of investigations of aerodynamics of two parallel high-rise buildings. The objective of the study the impact of wind on buildings associated with the large-scale design of high-rise buildings, seeking opportunities to use natural ventilation, optimization of air flow inside the building, as well as silicenum heat loss of buildings. Research into the aerodynamics of tall buildings is conducted using the Software Package COMSOL Multiphysics. The study area is constructed in the form of waves of the wind tunnel. Inside the wind tunnel are placed the layout of the two parallel arranged high-rise building. The flow around high-rise building occurs from left to right. The air flow is considered turbulent, non-stationary process. Turbulent motion of the air flow described by the Navier Stokes equations. Modeling of turbulent flow is carried out using the RANS method. The results of calculations performed for various distances between two tall buildings at a fixed air velocity and for different velocities of air flow at a fixed distance between the buildings.

**Key words:** aerodynamics, aerodynamics of high-rise building, the flow around high-rise buildings, velocity distribution, pressure distribution, the Software Package COMSOL Multiphysics, the RANS method.

Туралина Д.Е., Майханова А.К.

**Исследование аэродинамики двух параллельных высотных зданий**

В данной статье представлены результаты исследования аэродинамики двух параллельно расположенных высотных зданий.

Задача исследования влияния ветра на постройки связаны со значительными масштабами проектирования высотных зданий, поисками возможностей использования в них естественного проветривания, оптимизации воздушных потоков внутри здания, а также с увеличением теплопотери зданий. Исследования аэродинамики высотных зданий проводится с использованием Программного Пакета COMSOL Multiphysics. Область исследования строится в виде прямоугольной аэродинамической трубы. Внутри аэродинамической трубы располагаются макеты двух параллельно расположенных высотных зданий. Обтекание высотных зданий происходит с лева на право. Течение воздуха рассматривается турбулентным, процесс нестационарным. Турбулентное движение воздушного потока описывается уравнениями Навье Стокса. Моделирование турбулентного течения осуществляется с использованием метода RANS. Приводятся результаты расчетов проведенных для различных расстояний между двумя высотными зданиями при фиксированной скорости воздушного потока и наоборот, для различных скоростей воздушного потока при фиксированном расстоянии между зданиями.

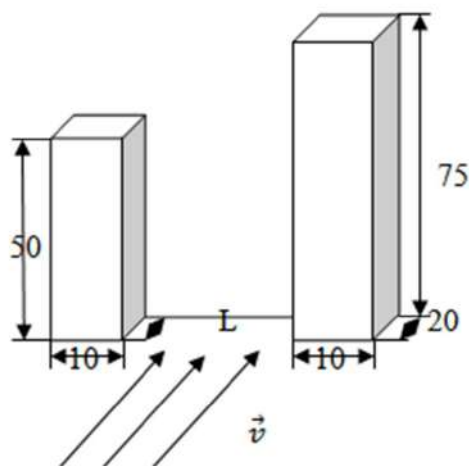
**Ключевые слова:** аэродинамика, аэродинамика высотных зданий, обтекание высотных зданий, распределение скорости, распределение давления, Программный Пакет COMSOL Multiphysics, метода RANS (Reynolds-averaged Navier-Stokes).

## 1 Кіріспе

Табиғи-климаттық жағдайлар тұрғын үйлердің микроклиматына елеулі ықпалын тигізеді және де оны реттеу жолдарының экономикалық тұрғыдан пайдалы екендігін анықтайды. Биік ғимараттарды жобалау әр түрлі факторларды ескеруді қажет ететін күрделі архитектуралық және инженерлік мәселе. Жел сыртқы факторлардың бірі болып табылады. Ол бөлмені желдетеді, ғимараттың жылу жоғалтуын арттырады, қоршаулардың жылу режимдерін өзгертеді. Осыдан желдің ғимараттарға әсерін зерттеу мәселесі туындайды. Жұмыстың негізгі мақсаты параллель орналасқан биік екі ғимаратты ауа ағынының ағып өту ерекшеліктерін зерттеу. Зерттеу сандық тәжірибе түрінде жүргізілді. Бұл жұмыста ені мен ұзындығы бірдей, ал биіктіктері бірі екіншісінен қысқа параллель орналасқан екі зәулім ғимараттың аэродинамикасы зерттеледі. Бірінші жағдайда екі биік ғимараттың арақашықтықтары тұрақты, ал жел жылдамдығы өзгереді деп қарастырылады. Сөйтіп жел жылдамдығының ғимарат аэродинамикасына әсері зерттеледі. Екінші жағдайда жел жылдамдығының бір мәніне сәйкес ғимараттардың арақашықтықтары өзгеріп отырады. Арақашықтықтарының өзгеруіне байланысты қысым мен жылдамдықтың таралулары, құйынның түзілуі зерттеледі.

## 2 Есептің қойылымы

Бұл жұмыста параллель орналасқан екі ғимараттың аэродинамикасы, яғни қысым таралуы және жылдамдық таралуы зерттелді. Ғимаратты ағып өтіп жатқан жел ағынын зерттеу сандық әдіспен жүзеге асырылды. Ғимараттардың ені мен ұзындығы бірдей, ал биіктіктері бірі екіншісінен қысқа деп алынды. Сөйтіп, ғимараттар арасындағы оңтайлы арақашықтықты табу жұмыстары жүргізілді. Арақашықтықтары сәйкесінше 6м, 16м, 26м етіп алынды. Жылдамдықтары 1м/с, 5м/с, 10м/с аралығында өзгерді. Зерттеуде екі биік ғимарат қатар орналасады және олардың арақашықтықтары өзгеріп отырады. Осы арақашықтықтарының өзгеруіне және желдің жылдамдығына байланысты қысым мен жылдамдықтың таралулары зерттеледі.



1-сурет - Екі қатар тұрған биік ғимаратты ауаның ағып өтуі

### 3 COMSOL Multiphysics бағдарламасында есептің шығарылуы

COMSOL Multiphysics бағдарламасында есепті сандық түрде шығару үшін  $x$ ,  $y$ ,  $z$  кеңістігінде ғимарат ретінде екі призма салынды (2- сурет). Осы призмалардың сыртында аэродинамикалық құбыр салынып, сол құбырдың ішіне ауа жіберілді. Енді ғимаратқа әсер ететін ауа ағынының жылдамдығы мен қысым эпюрасының өзгерісі зерттелді. Ғимараттардың арақашықтығын 6м, 16м, 26м етіп алып, ғимарат бойындағы ауаның жылдамдығы мен қысым эпюрасының өзгерісінің COMSOL Multiphysics бағдарламасында шығарылуы қарастырылды. Бірінші ғимараттың биіктігін 75 метр, ал ұзындығы 20м, ені 10 метр деп берілді. Екінші ғимараттың биіктігі 50м, ұзындығы 20м, ені 10м деп берілді. Ғимарат қабырға ретінде (Wall) деп алынды. Ғимарат бойында ауаның ағысы турбулентті болады. Ауаның бастапқы жылдамдығы 1 м/с, 5м/с 10 м/с деп берілді. Есептеу аймағы 150x100x132 м етіп алынды. Ғимаратқа әсер ететін жел әсерін бақылау үшін COMSOL Multiphysics бағдарламасында ағынды турбулентті, стационар емес және сығылмайтын сұйыққа арналған Навье-Стокс теңдеуіне RANS әдісі қолданылып шығарылды. Сығылмайтын сұйыққа арналған Навье-Стокс теңдеулер жүйесі қозғалыс және үзіліссіздік теңдеулерінен тұрады:

$$\rho * \frac{\partial u}{\partial t} + \rho * (u * \nabla) * u = \nabla * [-p * I + \mu * (\nabla u + (\nabla u^T))] + F \quad (1)$$

$$\rho \nabla * u = 0 \quad (2)$$

Шекаралық шарттары Simmetry, яғни симметриялық етіп берілді. Ауа кіріп жатқан бөлігі және шығып жатқан бөлігі таңдап алынды, сәйкесінше шекаралық шарттары төмендегідей етіп қойылды:

Кіре берістегі шекаралық шарт

$$u = -U_0 * n \quad (3)$$

$$k = \frac{3}{2}(U_0/T)^2 \quad (4)$$

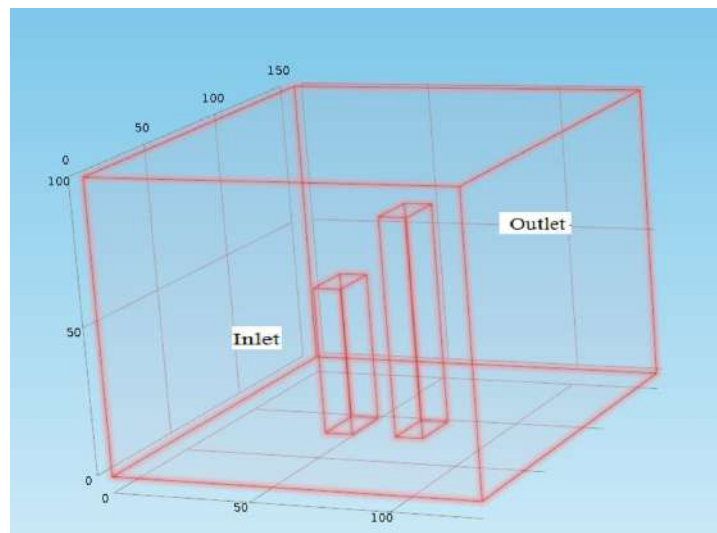
$$\epsilon = C_\mu^{3/4} \frac{k^{3/2}}{L_T} \quad (5)$$

мұндағы  $L_T$  - турбуленттіліктің ұзындық масштабы,  $L_T = 0.01$   
Шыға берістегі шекаралық шарт

$$[-pl + (\mu + \mu_T)(\nabla u + (\nabla u)_T) - \frac{2}{3}(\mu + \mu_T)(\nabla * u)l - \frac{2}{3}\rho k * l] * n = -\hat{p}_0 n \quad (6)$$

$$\hat{p}_0 \leq p_0 \quad (7)$$

$$\nabla k * n = 0, \nabla \epsilon * n = 0 \quad (8)$$



**2-сурет** - MComsol Multiphysics бағдарламасындағы есептің қойылымы

Inlet - Ауаның кіре беріс бөлігі  
Symmetry - Симметриялық шекаралық шарттар  
Outlet - Ауаның шыға беріс бөлігі

#### 4 COMSOL Multiphysics бағдарламасы арқылы алынған есеп нәтижелері

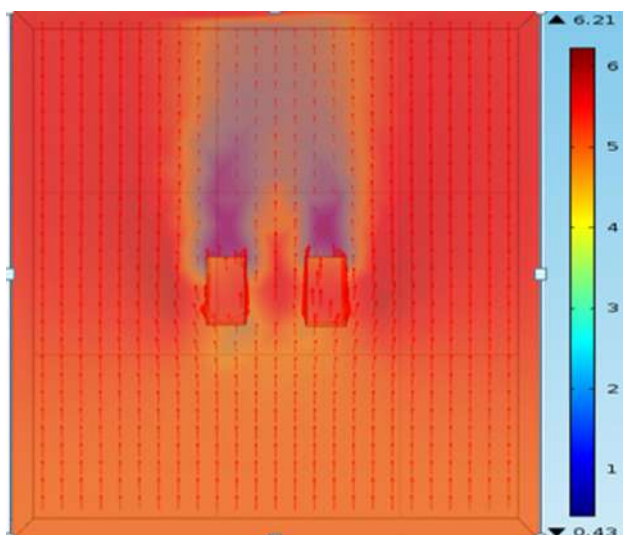
Параллель орналасқан екі ғимараттың ауаның ағып өтуінің есебі Comsol Multiphysics бағдарламасымен шығарылды. Екі ғимаратты ағып өткен кездегі ауа жылдамдығының таралуы, қысымның таралуы есептелді. Есеп әр түрлі жағдайда, ғимараттардың арақашықтықтары 6м, 16м және 26м болған жағдайда және ауа жылдамдығының әр түрлі мәндерінде қарастырылды. Алдымен, есептің дәл мәнін анықтау үшін торды дұрыс таңдай білу өте маңызды. Есепті шығару үшін тордың үш түрі қарастырылды.

-Ірі тор (coarse) 3- сурет

-Қалыпты тор (Normal) 4- сурет

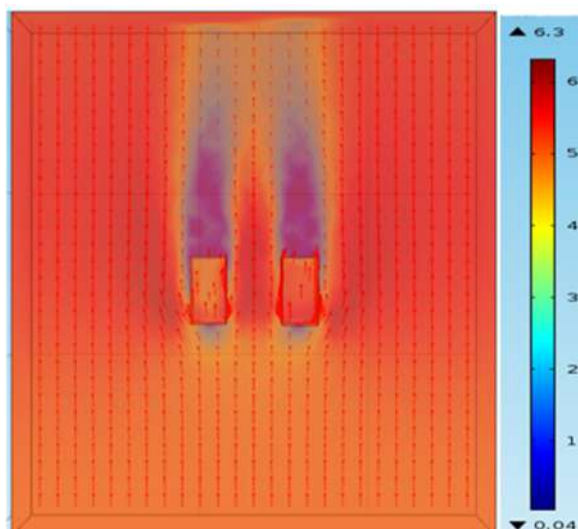
-өте ұсақ тор (Finer) 5- сурет

Ірі торды қолдана отырып алынған нәтиже:



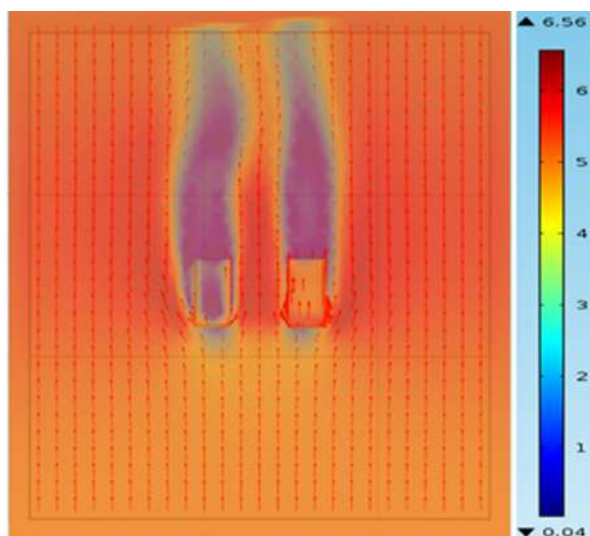
3-сурет -Екі ғимарат арақашықтығы тұрақты болғандағы жылдамдықтың таралуы.

Қалыпты торды пайдалана отырып алынған нәтиже:

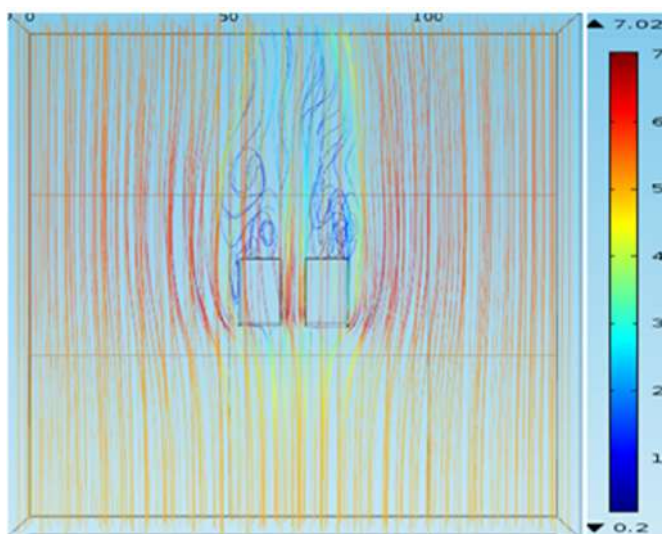


4-сурет - Екі ғимарат арақашықтығы тұрақты болғандағы жылдамдықтың таралуы.

өте ұсақ торды пайдалана отырып алынған нәтиже:

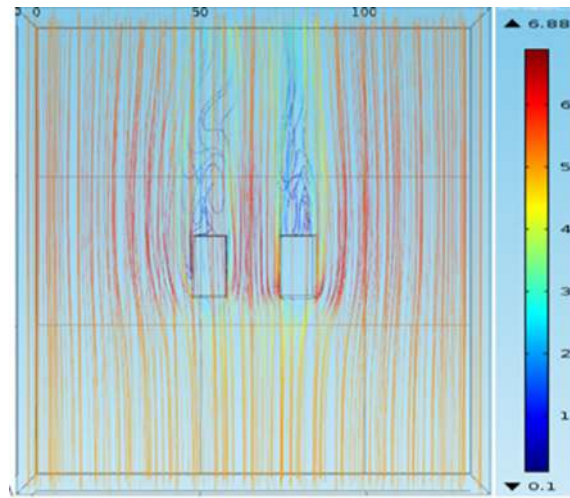


**5-сурет** - Екі ғимарат арақашықтығы тұрақты болғандағы жылдамдықтың таралуы.

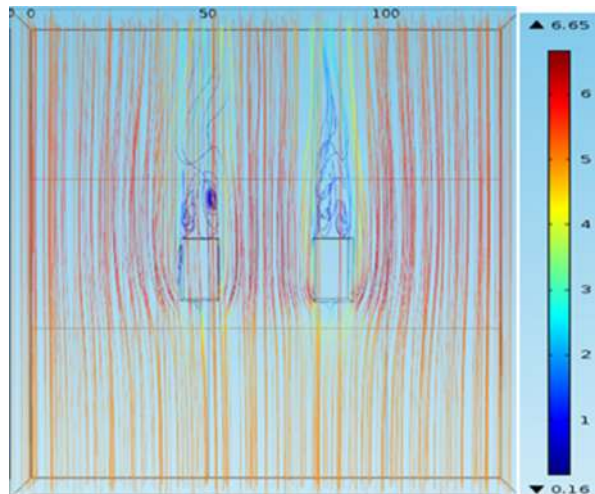


**6-сурет** - Екі ғимарат арақашықтығы 6м болғандағы жылдамдықтың таралуы.

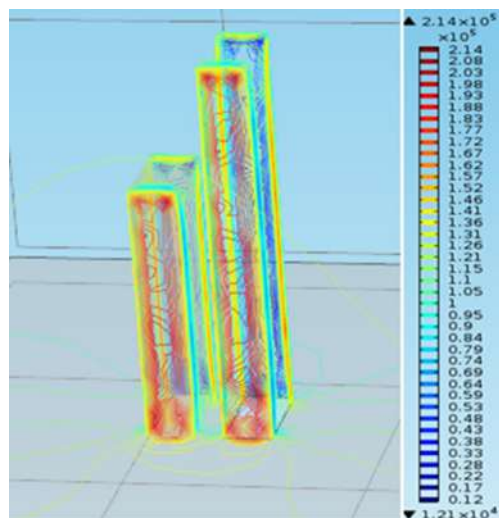
Есептеу нәтижелеріндегі қою көк түс жылдамдық өте аз дегенді, сары түс қалыпты, ал қою қызыл түс өте жоғары жылдамдық дегенді білдіреді. Торларды салыстыру үшін тұрақты арақашықтықты және тұрақты жылдамдықты бере отырып, тек қана жоғарыда айтылған үш торды қолдана отырып, салыстыру жасалынды. Сонда тор жиілеген сайын кескін анық көріне бастады. Ірі торды пайдалана отырып алынған нәтижеге қарағанда ғимарат артындағы із көк түсті болатын, қалыпты тормен есептегенде көк түске аздаған сары түстің түскені байқалады, ал өте ұсақ торды пайдаланғанда сол жерде айқын түрде байқалатын сары түс, яғни қозғалыс бар екенін көріп отырмыз. Бұдан шығатын қорытынды неғұрлым тор жиірек болса, соғұрлым кескін анығырақ, болып жатқан құбылыс дәлірек көрінеді. Сондықтан келесі есептеулер өте ұсақ тормен, яғни finer-мен есептелінді.



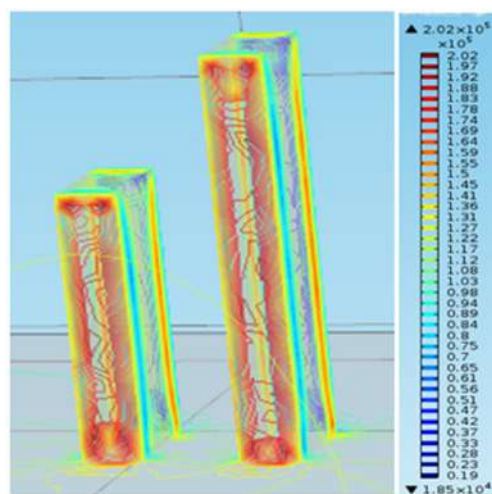
7-сурет - Екі ғимарат арақашықтығы 16м болғандағы жылдамдықтың таралуы.



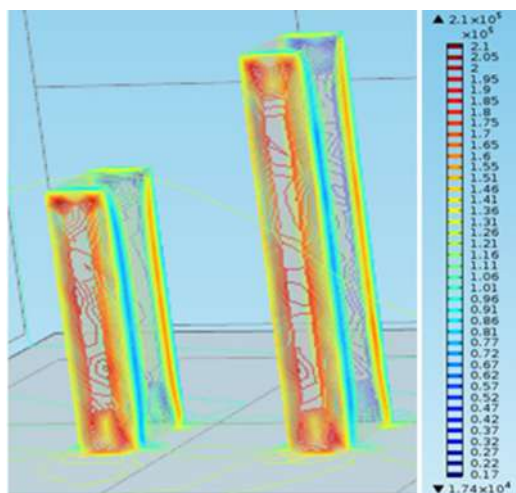
8-сурет - Екі ғимарат арақашықтығы 26м болғандағы жылдамдықтың таралуы.



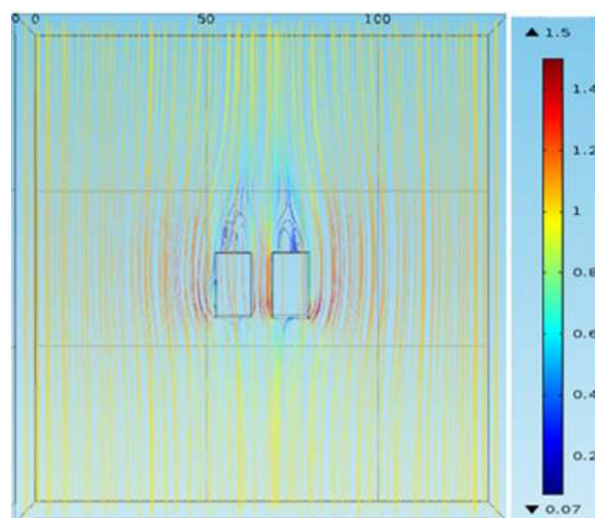
9-сурет - Екі ғимарат арақашықтығы 6м болғандағы қысымның таралуы.



10-сурет - Екі ғимарат арақашықтығы 16м болғандағы қысымның таралуы.



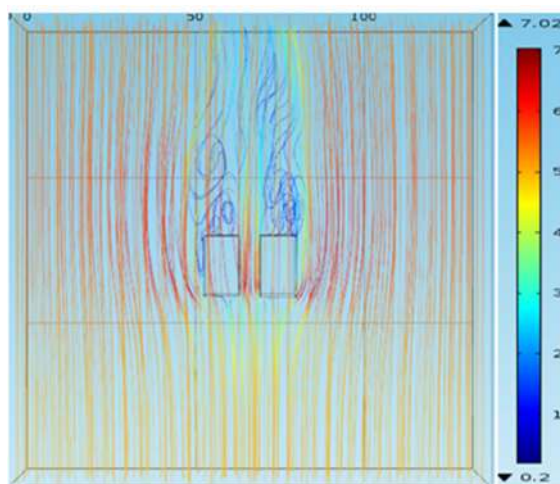
11-сурет - Екі ғимарат арақашықтығы 26м болғандағы қысымның таралуы.



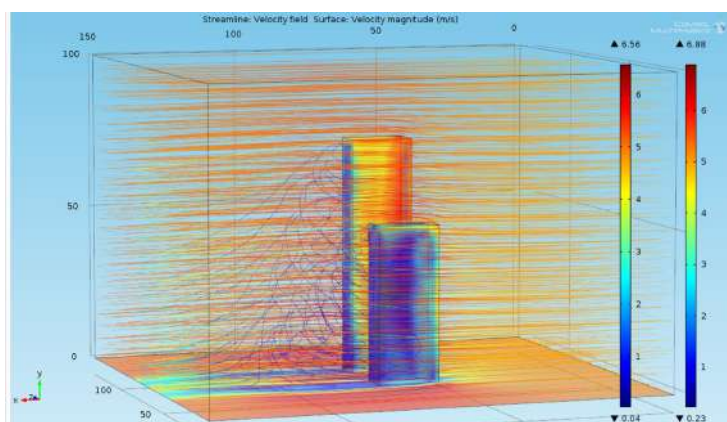
12-сурет - Бастапқы жылдамдығы 1м/с болғандағы ағын сызықтары.



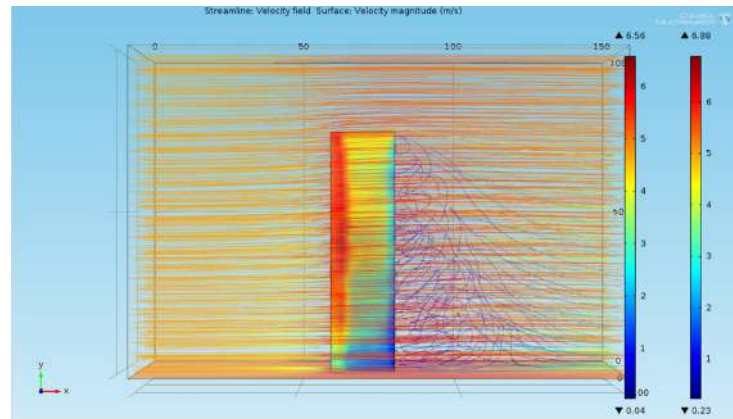
1. Екі ғимараттың арақашықтықтарын 6м, 16м және 26м, ал бастапқы жылдамдығын 5м/с етіп алғандағы, ғимараттардың төбесінен қарағандағы, жылдамдықтарының таралулары 6-8 суреттерде кескінделген. 6-11 суреттерден ғимараттардың арақашықтықтарын өзгерте отырып, алынған нәтижелер бойынша арақашықтығы 6м болғанда жылдамдықтың мәні максимал, 16м болғанда 6м-ге қарағанда жылдамдығы төмен, ал 26м болғанда алғашқы екеуінен де төмен мәнге ие екені байқалады. Бұдан шығатын қорытынды, ғимараттардың арақашықтығы неғұрлым жақын болса, соғұрлым арасындағы жылдамдықтар жоғары болады. Ғимараттардың артында пайда болып жатқан құйындардың орналасуы да арақашықтығының өзгеруіне байланысты әр түрлі. 6-11 суреттерден байқағанымыздай, ғимараттардың арақашықтықтары неғұрлым жақын болса, құйындар бір-бірімен қосылып қауіпті құйынды аймақтар түзілетіні, ал алшақтаған сайын құйындардың бір біріне әсері сейілетіні көрінеді. Қысымдар ғимараттың бетінде жоғары мәнге, ал ғимараттың артында теріс мәнге ие. Теріс мәнді қысым деп отырғанымыз, сол жерде сору болып жатыр дегенді білдіреді.



**13а-сурет** -Бастапқы жылдамдығы 5м/с болғандағы ағын сызықтары. Ғимараттарға төбесінен қарағандағы көрінісі

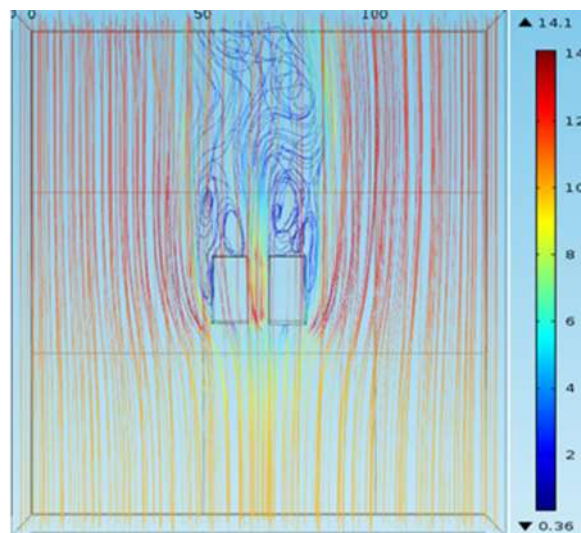


**13б-сурет** -Бастапқы жылдамдығы 5м/с болғандағы ағын сызықтары. Ғимараттарға артынан қарағандағы көрінісі



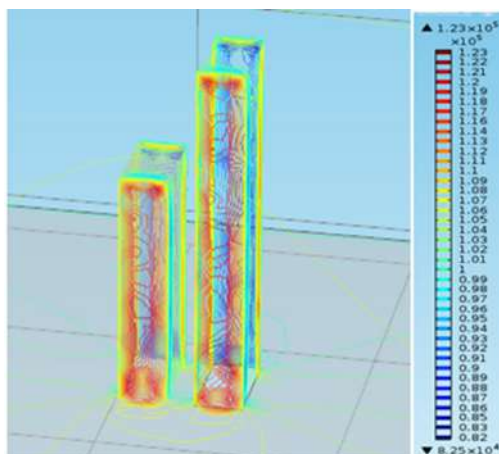
**13в-сурет** -Бастапқы жылдамдығы 5м/с болғандағы ағын сызықтары. Ғимараттарға жанынан қарағандағы көрінісі

2. Екі ғимараттың арақашықтықтарын 6м, ал бастапқы жылдамдығын 1 м/с, 5м/с, 10 м/с етіп бергендегі жылдамдықтардың таралуы 12-14 суреттерде кескінделген.

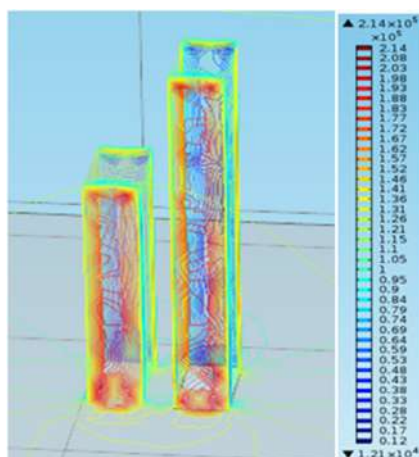


**14-сурет** - Бастапқы жылдамдығы 10м/с болғандағы ағын сызықтары.

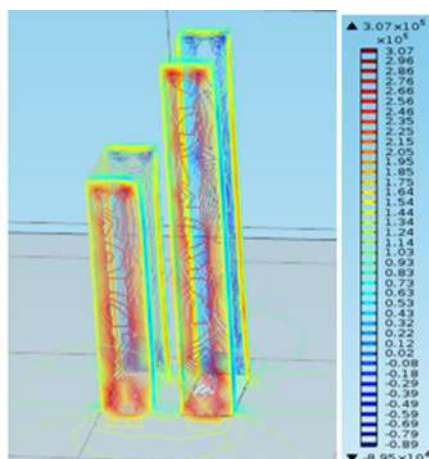
Екі ғимараттың арақашықтықтары 26м, ал бастапқы жылдамдығын 1м/с, 5м/с, 10м/с етіп бергендегі қысымның таралуы 15-17 суреттерде кескінделген.



15-сурет -Бастапқы жылдамдығы 1м/с болғандағы қысымның таралуы



16-сурет -Бастапқы жылдамдығы 5м/с болғандағы қысымның таралуы



17-сурет - Бастапқы жылдамдығы 10м/с болғандағы қысымның таралуы

15-17 суреттерде ғимараттардың арақашықтықтары тұрақты, ауаның жылдамдықтарының мәндері өзгертіліп отырған жағдайдағы биік ғимараттар артындағы түзілген

құйындар кескінделген. Жылдамдықты 1 м/с етіп бергенде ғимарат артында пайда болып жатқан құйындардың кішірек екендігі және ұзақ арақашықтыққа созылмайтындығы байқалса, ал 5 м/с, 10 м/с кезінде ғимарат артында пайда болған құйындардың ұйытқып ұзаққа созылып жатырғандығы байқалады. Яғни ауаның жылдамдығы артқан сайын ғимарат шетінен үзілген ағындардың есебінен ғимараттың артқы бөлігінде бір-бірімен жалғасып жатқан құйындар пайда болады.

## 5 Қорытынды

Бұл жұмыста ені мен ұзындығы бірдей, ал биіктіктері бірі екіншісінен қысқа параллель орналасқан екі зәулім ғимараттың аэродинамикасы зерттелді. Бірінші жағдайда екі биік ғимараттың арақашықтықтары тұрақты, ал жел жылдамдығы өзгереді деп қарастырылды. Сөйтіп жел жылдамдығының ғимарат аэродинамикасына әсері зерттеледі. Екінші жағдайда жел жылдамдығының бір мәніне сәйкес ғимараттардың арақашықтықтары өзгеріп отырады. Арақашықтықтарының өзгеруіне байланысты қысым мен жылдамдықтың таралулары, құйынның түзілуі зерттеледі. Сандық тәжірибе Comsol Multiphysics бағдарламасы Пакетін пайдаланып жүзеге асырылды. Сол кездегі алынған нәтижелер бойынша, желмен ағып өту кезінде ғимараттар маңында қауіпті құйынды аймақтар пайда болады. Құйынды аймақтар жер бетінен және ғимараттар жиегінен үзілген ағындардың есебінен пайда болады. Бұл құйынды аймақтар күрделі үш өлшемді тұрақталмаған құйындық ағындардан тұрады. Ғимараттарға жақындаған кезде ауа ағынының төменгі қабаттары тежеледі, және ағынның бұл бөлігінің кинетикалық энергиясы потенциалдыққа көшеді. Сәйкесінше, статикалық қысым ұлғаяды. Статикалық қысым ғимараттарға жақындаған сайын біртіндеп ұлғаяды. Ғимараттардың бетінде қысым максимал мәнге жетеді. Мұнда келетін ағын циркуляция аймағын құрады. Оның құйындары ғимарат формасын ыңғайлы ағып өтетін формаға дейін толықтырады және осылайша негізгі ағынның энергиясының жоғалуын азайтады. Бұл аймақта құйын тәрізді қозғалыс жасайтын және ғимараттың ық жағына қарай кететін ауамен алмасу жүреді. Келетін ағын ғимаратты және циркуляция аймағын жоғарыдан және жандарынан ағып өтеді. Ғимаратты ағып өтетін ағын қандайда бір сығылудың есебінен ғимаратқа келетін желдің жылдамдығынан көбірек жылдамдыққа ие. Екі ғимарат арақашықтығы жақын болған сайын арасындағы жылдамдық та арта береді. Ғимарат жиектерінен үзілу кезінде ағын ғимараттың ық жағынан ауаны қарқынды түрде ілестіреді, мұның нәтижесінде қысым азаяды. Ғимараттың ық жағында бірнеше құйын пайда болады. Бұл беттегі аэродинамикалық із шекарасы - қисық сызықты бет. Желмен ағып өту кезінде іргелес ғимараттардың аэродинамикалық із аймақтары кейде қосыла отырып, ауаның жалпы циркуляциясы бар күрделі аймақтарды құра отырып бір біріне әсер етеді. Алынған зерттеу нәтижелері зәулім ғимараттар мен үйлерді жобалағанда және тұрғызғанда пайдалы болары сөзсіз.

## Әдебиеттер

- [1] *S. Swaddiwudhipong, T.T.T. Anh, Z.S Liu, J.Hua.* Modelling of wind load on single and staggeed dual buildings // Engineering with computers. Shpringer. - 2007. - С. 215-227.
- [2] *GU Ming, QUAN Yong.* Across-wind loads and effects of super-tall buildings and structure // Science China Technological sciences. Shpringer. -2011. -№10(54). -С.2531-2541.

- [3] *GU Ming*. Wind resistant studies on tall buildings and structures // Science China Technological sciences. -2010. -№10(53). -С.2630-2646.
- [4] *S.A. Isaev, P.A.Baranov, Yu.V.Zhukova, A.A.Tereshkin, A.E.Usachov* "Simulation of the wind effect on an ensemble of high-rise buildings by means of multiblock computational technologies // Journal of engineering Physics and Thermophysics. - 2014. - №1(87). - С.112-123.
- [5] *Ayo Samuel Adinoyi, NormahMohd-Ghazali, and Shuhaimi Mansor*. Outdoor ventilation performance of various configurations of a layout of two adjacent buildings under isothermal conditions// Building Simulation. Shpringer. -2015. -№8. -С.81-98.
- [6] *Симму Э. Сканлан Р.* Воздейтвие ветра на здания и сооружения. / Пер. с англ. Б.Маслова, А.В Швецовою; Под ред. Б.Е Маслова. -М.: Стройиздат. -1984.- 360с.
- [7] *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газа . Издательство Наука, -Москва. -1978.- 736б
- [8] *Седов Л.И.* Методы подобия и размерности в механике. - М.: Наука, 1972.- 430б.
- [9] *Туралина Д.Е.* Тәжірибелік аэромеханика бойынша зертханалық жұмыстар.-Алматы: Қазақ университеті, 2011.- 85б.

## References

- [1] *S. Swaddiwudhipong, T.T.T. Anh, Z.S Liu, J.Hua*. Modelling of wind load on single and staggeed dual buildings // Engineering with computers. Shpringer. - 2007. - С. 215-227.
- [2] *GU Ming, QUAN Yong*. Across-wind loads and effects of super-tall buildings and structure // Science China Technological sciences. Shpringer. -2011. -№10(54). -С.2531-2541.
- [3] *GU Ming*. Wind resistant studies on tall buildings and structures // Science China Technological sciences. -2010. -№10(53). -С.2630-2646.
- [4] *S.A. Isaev, P.A.Baranov, Yu.V.Zhukova, A.A.Tereshkin, A.E.Usachov* "Simulation of the wind effect on an ensemble of high-rise buildings by means of multiblock computational technologies // Journal of engineering Physics and Thermophysics. - 2014. - №1(87). - С.112-123.
- [5] *Ayo Samuel Adinoyi, NormahMohd-Ghazali, and Shuhaimi Mansor*. Outdoor ventilation performance of various configurations of a layout of two adjacent buildings under isothermal conditions// Building Simulation. Shpringer. -2015. -№8. -С.81-98.
- [6] *E. Simiu, R. Scanlan*. Wind Effects on Structures /Vozdeistvie vetra na zdaniya i sooruzheniya/ per.s angl.pod redakciei B.E.Maslova.- М.: Stroizdat, 1984. – 360 s.
- [7] *Loitsyanskii L.G.* Mehanika zhidkosti i gaza, – 5-e izd. – М.: Nauka, 1978. – 736 s.
- [8] *Sedov L.I.* Metody podobia i razmernosti v mehanike. - М.: Nauka, 1972. – 430 s.
- [9] *Turalina D.E.* Tazhiribelik aeromehanika boyinsha zerthanalik zhumistar. – Almaty: Kazakh universiteti, 2011.– 85b.