
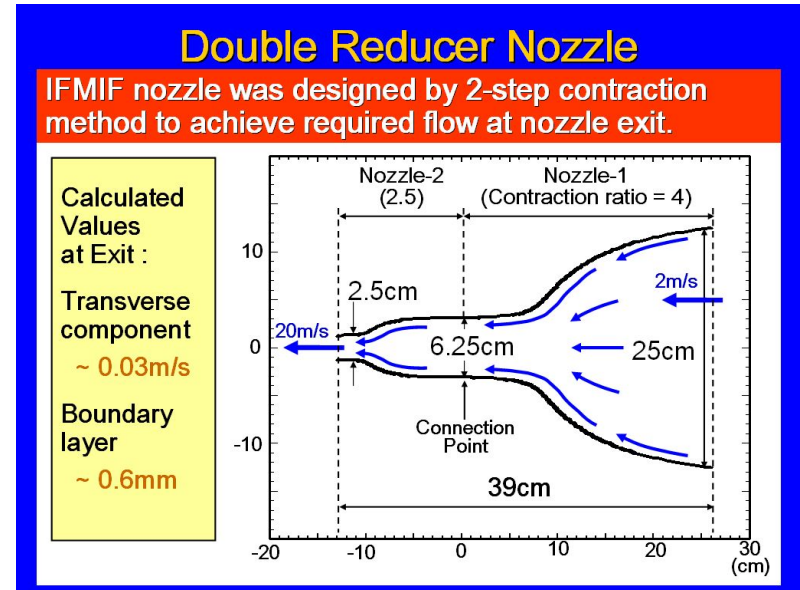
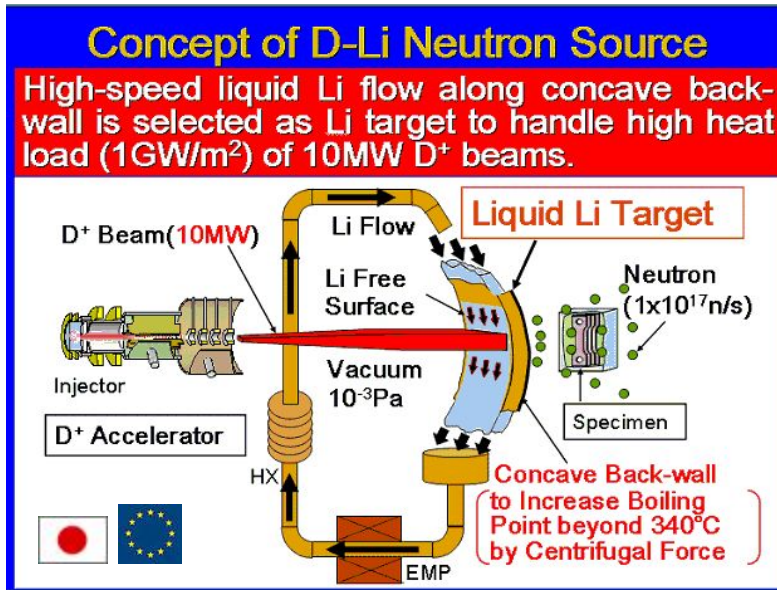


“ Моделирование кодом FiDAP свободной поверхности плоской турбулентной струи, формируемой соплом SHIMA”.

Цель расчетного исследования заключалась:

- в моделировании контурной гидродинамики литиевой петли
- в исследовании устойчивости свободной поверхности изотермической плоской струи при истечении ее из сопла  SHIMA в вакуум [4÷15]
- в начальном этапе оптимизации геометрии кромки сопла и выяснении причин образования аэрозолей



ЧТО СДЕЛАНО ?

С помощью лицензионного кода FiDAP v.8.7.2 [1÷3] выполнено 2D расчетное моделирование части петли литиевого стенда.

Исследован стационарный изотермический, турбулентный режим в условиях полного смачивания и отсутствия шероховатости конструкций.

С помощью лицензионного пре-процессора GAMBIT смоделированы расчетные сетки и исследованы 3 варианта угловых конфигураций кромок сопла SHIMA на четырехугольной криволинейной сетке: 22° , $62^\circ 30'$ (проектное значение) и $67^\circ 30'$.

Количество ячеек расчетной сетки варьировалась в пределах 108284 (для проектного варианта) до 92342 (для вариантов: 22° и $67^\circ 30'$). При этом количество ячеек для области струи (по глубине) для проектного варианта составило 12 (размер ячейки 0.83 мм) и 4 (размер ячейки 2.5 мм) для остальных вариантов.

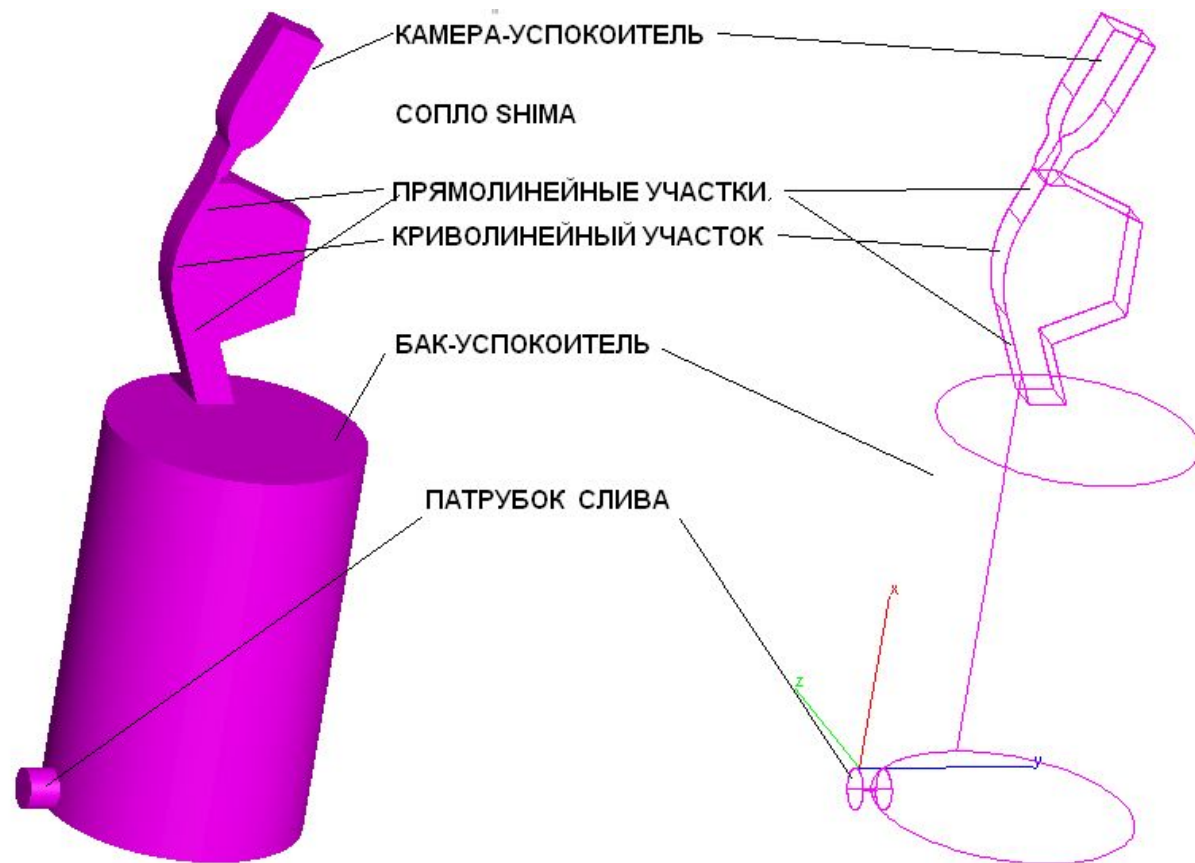


ЧТО ПРЕДСТАВЛЯЕТ СОБОЙ ФРАГМЕНТ ПЕТЛИ ?

В состав фрагмента петли вошли:

- камера -успокоитель (на входе) без решеток
- модельное сопло SHIMA с габаритами:
 - 70x97 мм сечение на входе в первую ступень
 - 70x10 мм сечение на выходе второй ступени
 - 177 мм –общая длина .
- прямолинейный 90 мм участок, наклоненный под углом $67^{\circ}30'$ к горизонту.
- криволинейный участок ($R=250$ мм, с угловым растром в 45°)
- прямолинейный 198 мм участок на сливе
- приемный успокоительный бак на сливе.





$$\nabla \bullet \vec{u} = 0$$

$$\rho \left(\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + \vec{u} \bullet \nabla \vec{u} - \vec{g} \right) - \nabla \bullet \tau + \nabla p = 0$$

$$\rho c_p \left(\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{u} \bullet \nabla T \right) - \nabla \bullet (k \nabla T) - H = 0$$

уравнение для турбулентной энергии

$$\rho \frac{\partial \kappa}{\partial t} + \rho u_j \kappa_j = \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\kappa} \kappa_j \right)_j + G + B - \rho \varepsilon$$

уравнение для диссипации турбулентной энергии:

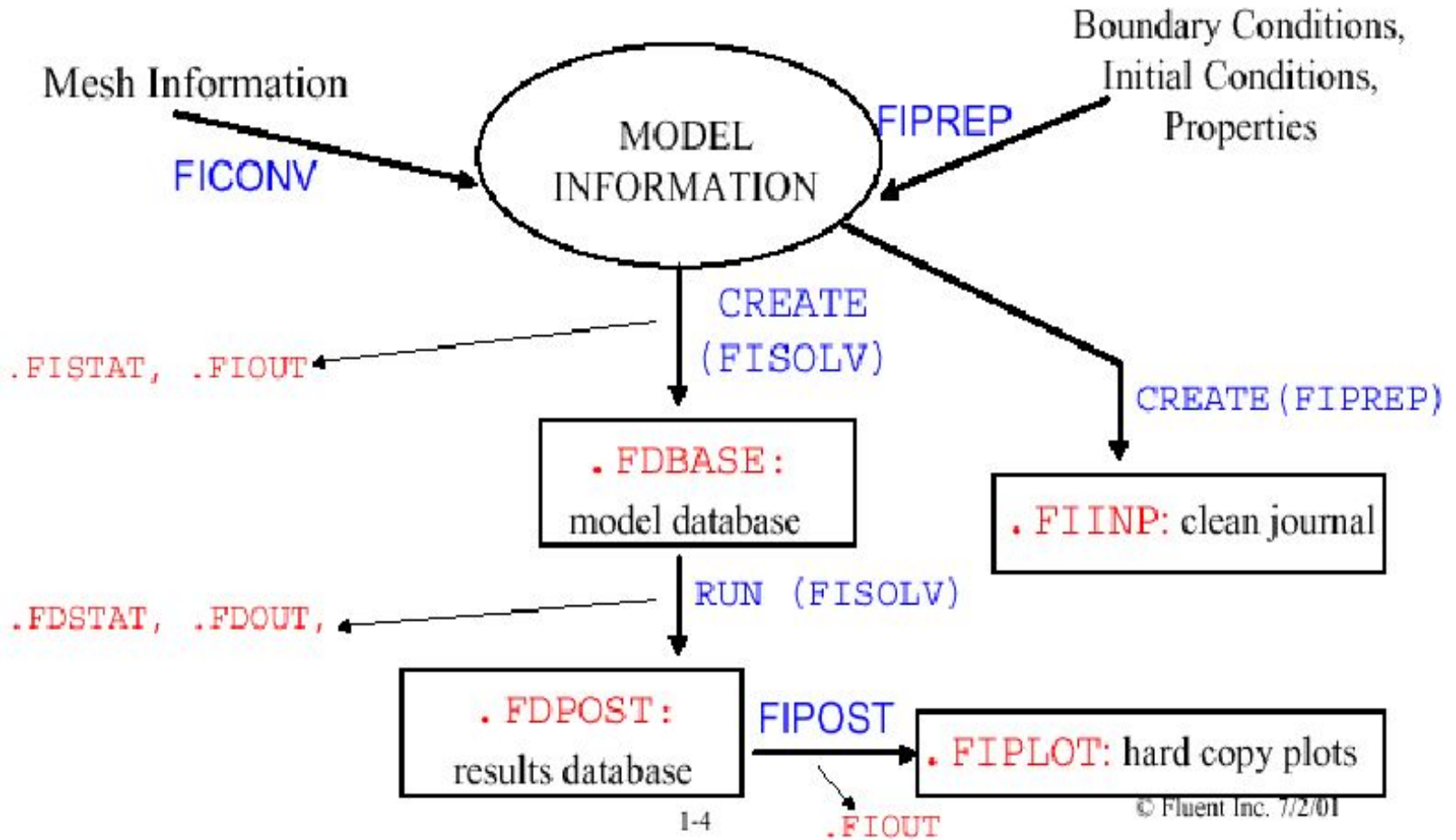
$$\rho \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \rho u_j \varepsilon_j = \left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \varepsilon_j \right)_j + c_1 \frac{\varepsilon}{\kappa} G + c_1 (1 - c_3) \frac{\varepsilon}{\kappa} B - c_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{\kappa}$$

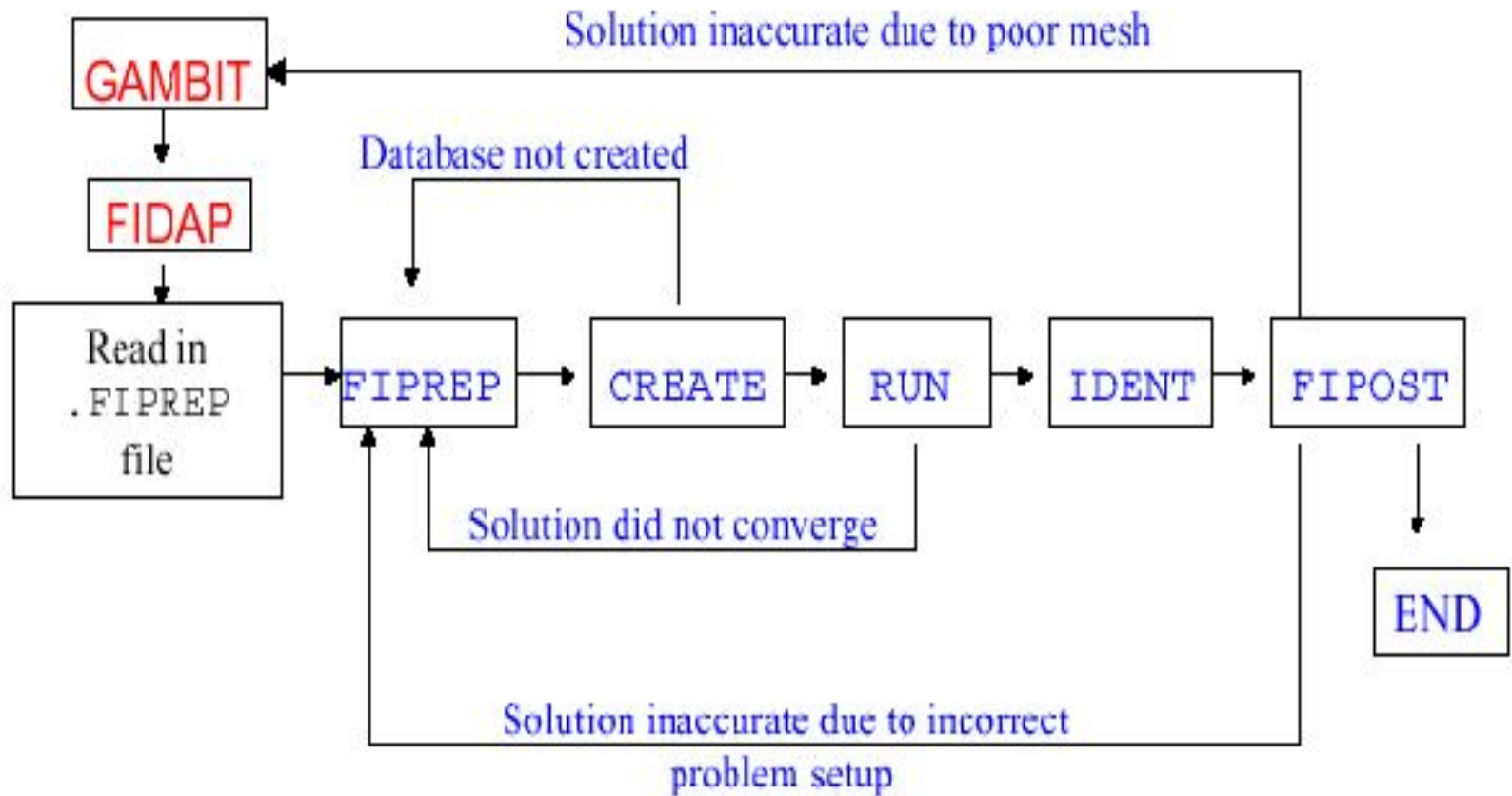
уравнение
метода

V.O.F. (Volume Of Fluid) кода FIDAP ([1] стр.13-2):

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \vec{u} \bullet \nabla F = 0$$

Система уравнений расчетной модели решена с помощью штатного алгоритма кода : **'SEGREGATED FREE-SURFACE ALGORITM'**.



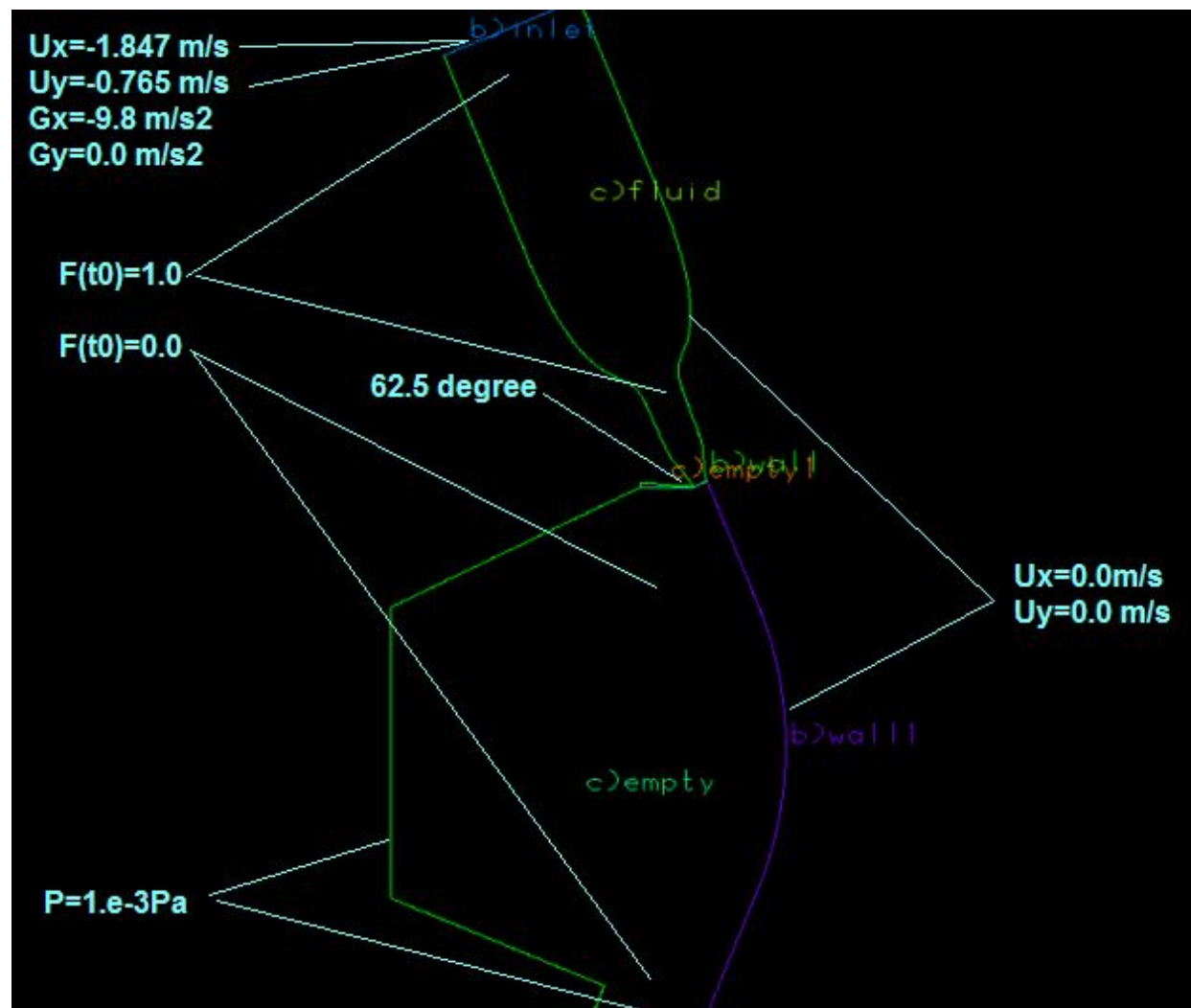


GAMBIT - What does it mean ?



- ☞ **G**eometry - ACIS-based 3-d solid modeling
- ☞ **A**nd - CAD import, virtual cleanup
- ☞ **M**esh - SubMap, Cooper, TGrid,
- ☞ **B**uilding - Boundary layer, Hybrid meshing
- ☞ **I**ntelligent - Journaling, Mesh examination,
- ☞ **T**oolkit - Coordinate systems





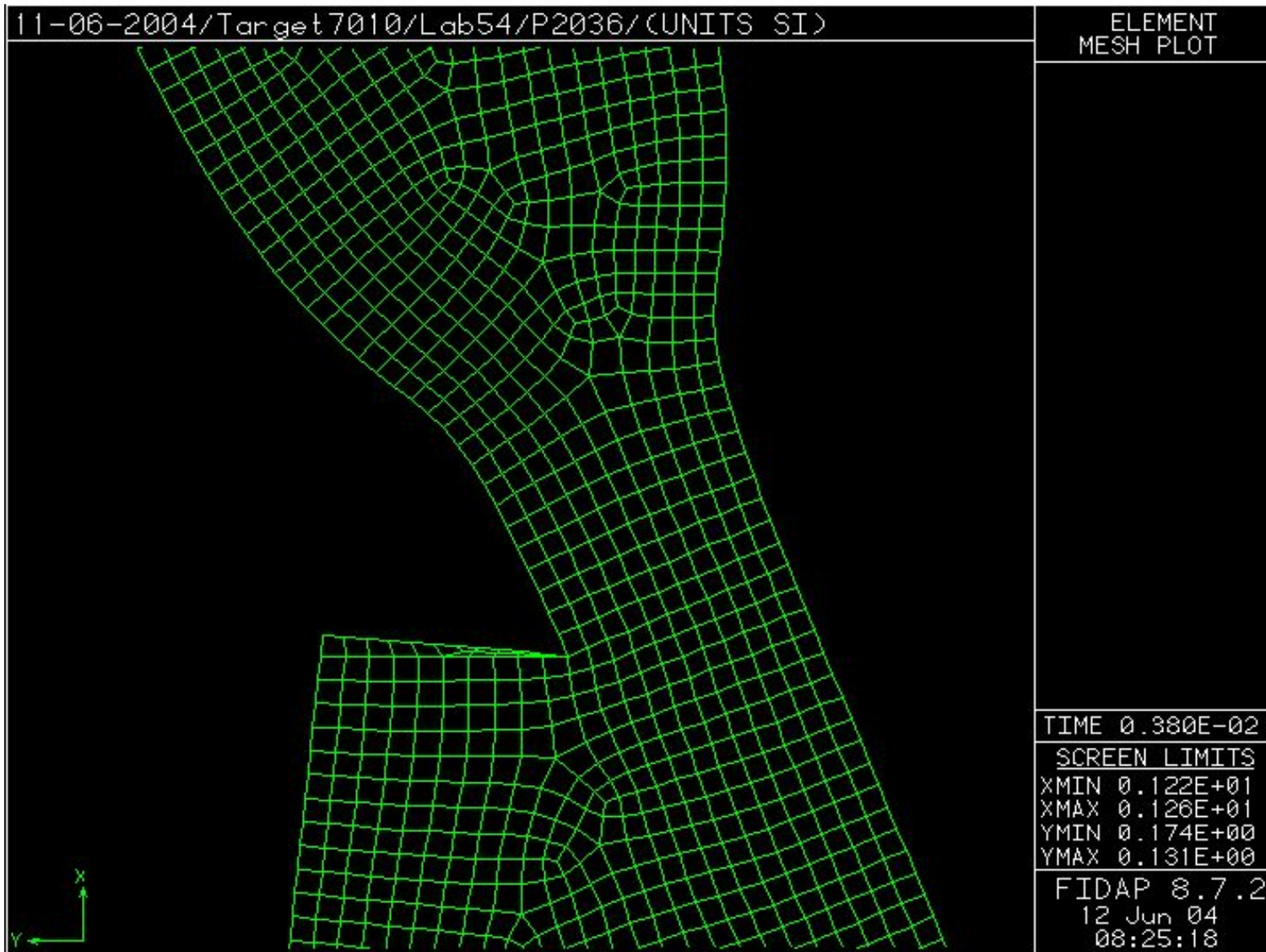


РАСЧЕТНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДЛЯ
варианта кромки сопла $62^{\circ}30'$
(проектное значение).





Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). 2D расчетная урезанная расчетная сетка в области второй ступени сопла, кромки и прямолинейного 90 мм участка. УВЕЛИЧЕНИЕ



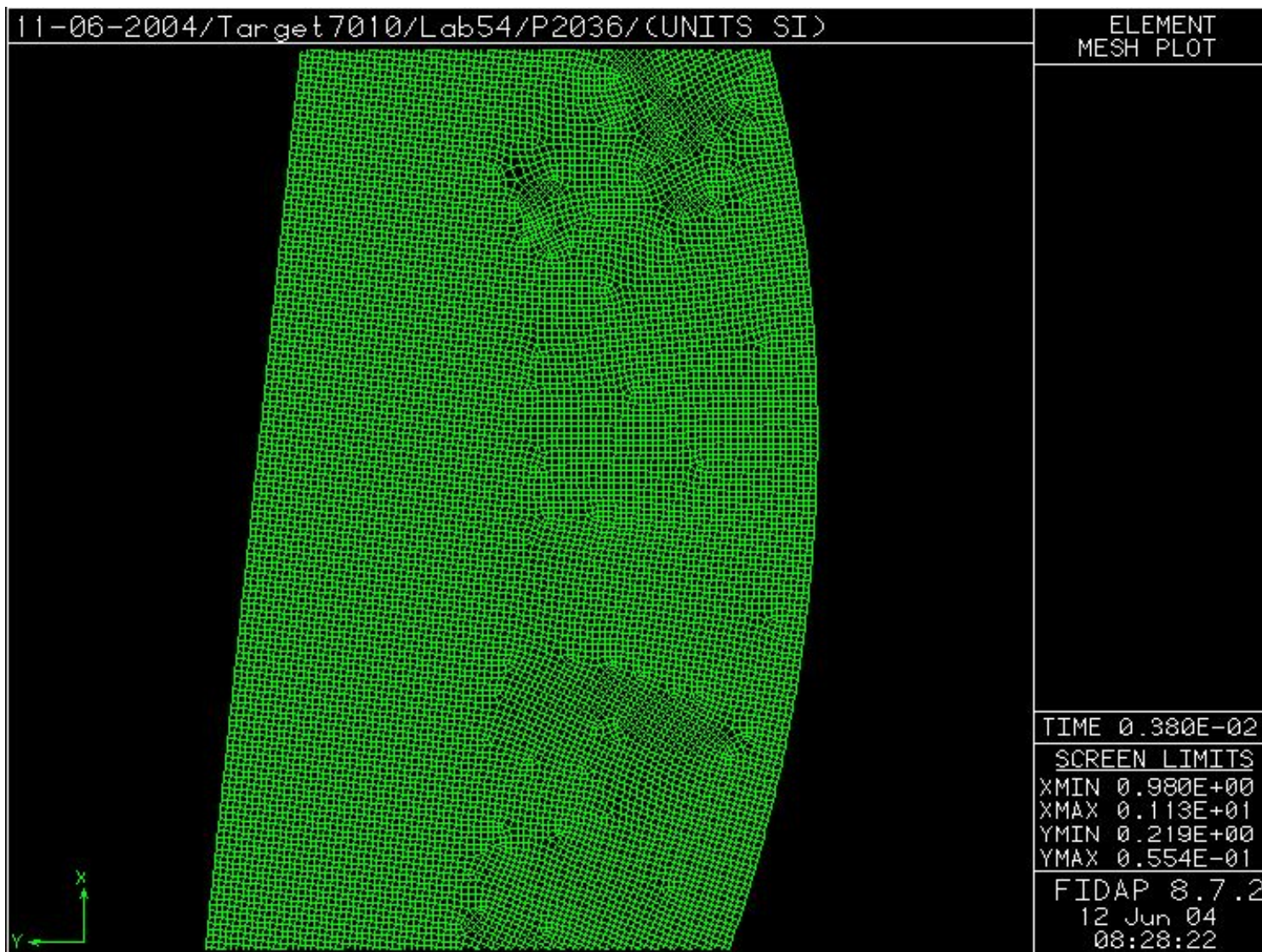


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). 2D расчетная урезанная расчетная сетка в области первой и второй ступеней сопла, кромки и прямолинейного 90 мм участка. УВЕЛИЧЕНИЕ





Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). 2D расчетная урезанная расчетная сетка в области действия пучка дейтронов. УВЕЛИЧЕНИЕ



FIDAP

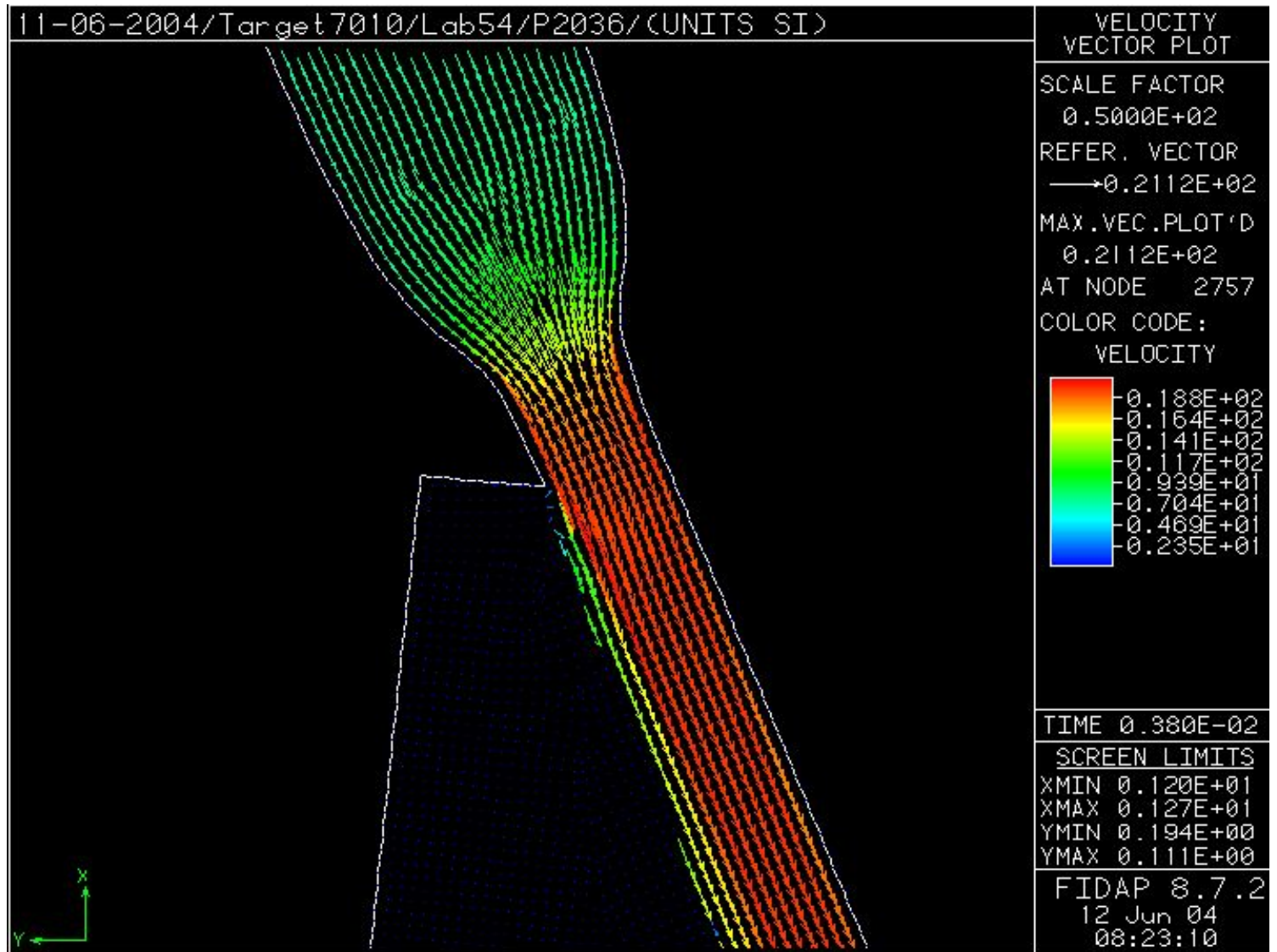


FLUENT
INCORPORATED





Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). 2D векторное поле скорости в области второй ступени сопла, кромки и прямолинейного 90 мм участка. УВЕЛИЧЕНИЕ

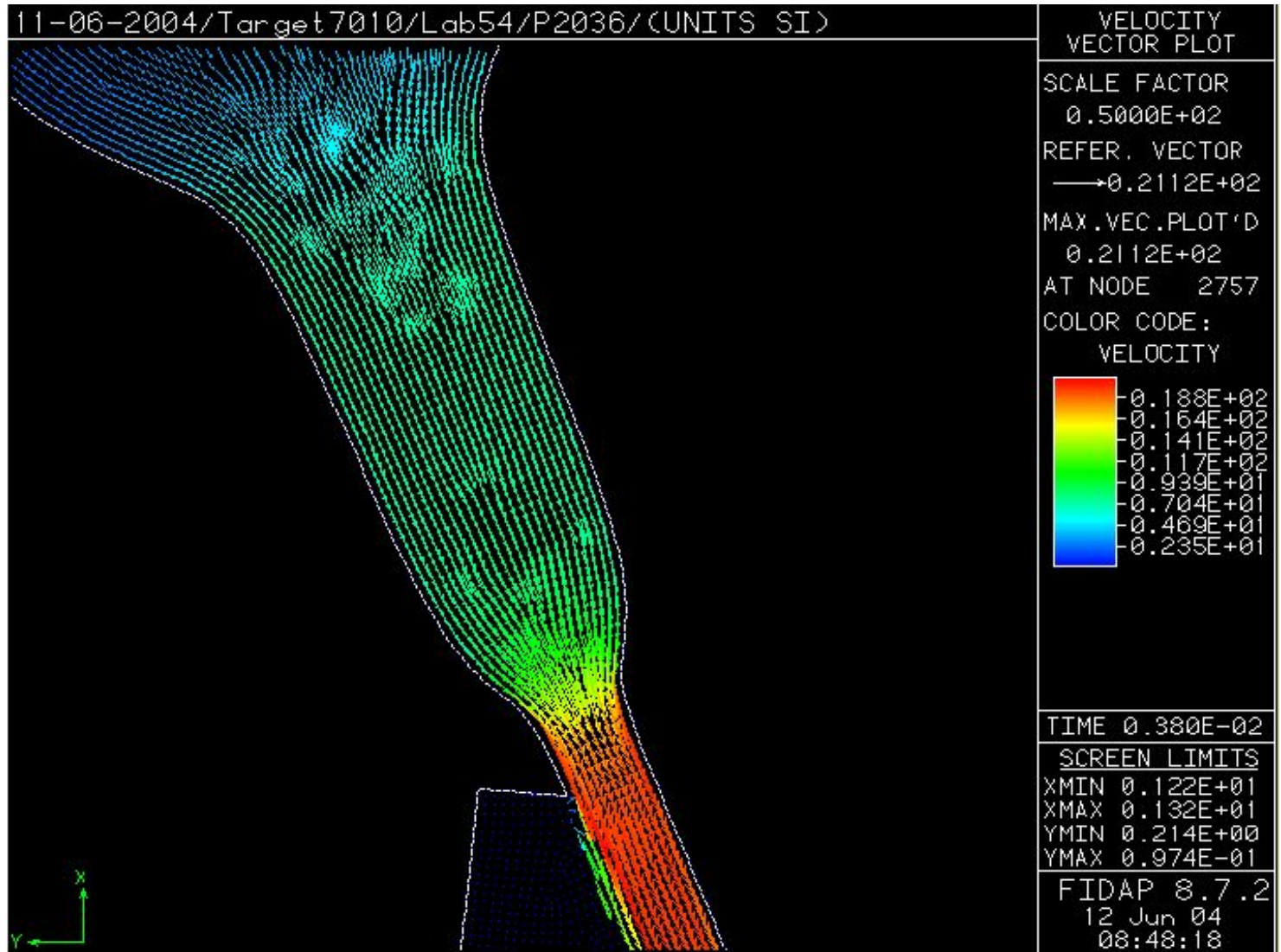


FIDAP





Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). 2D векторное поле скорости в области первой и второй ступеней сопла, кромки и прямолинейного 90 мм участка. УВЕЛИЧЕНИЕ

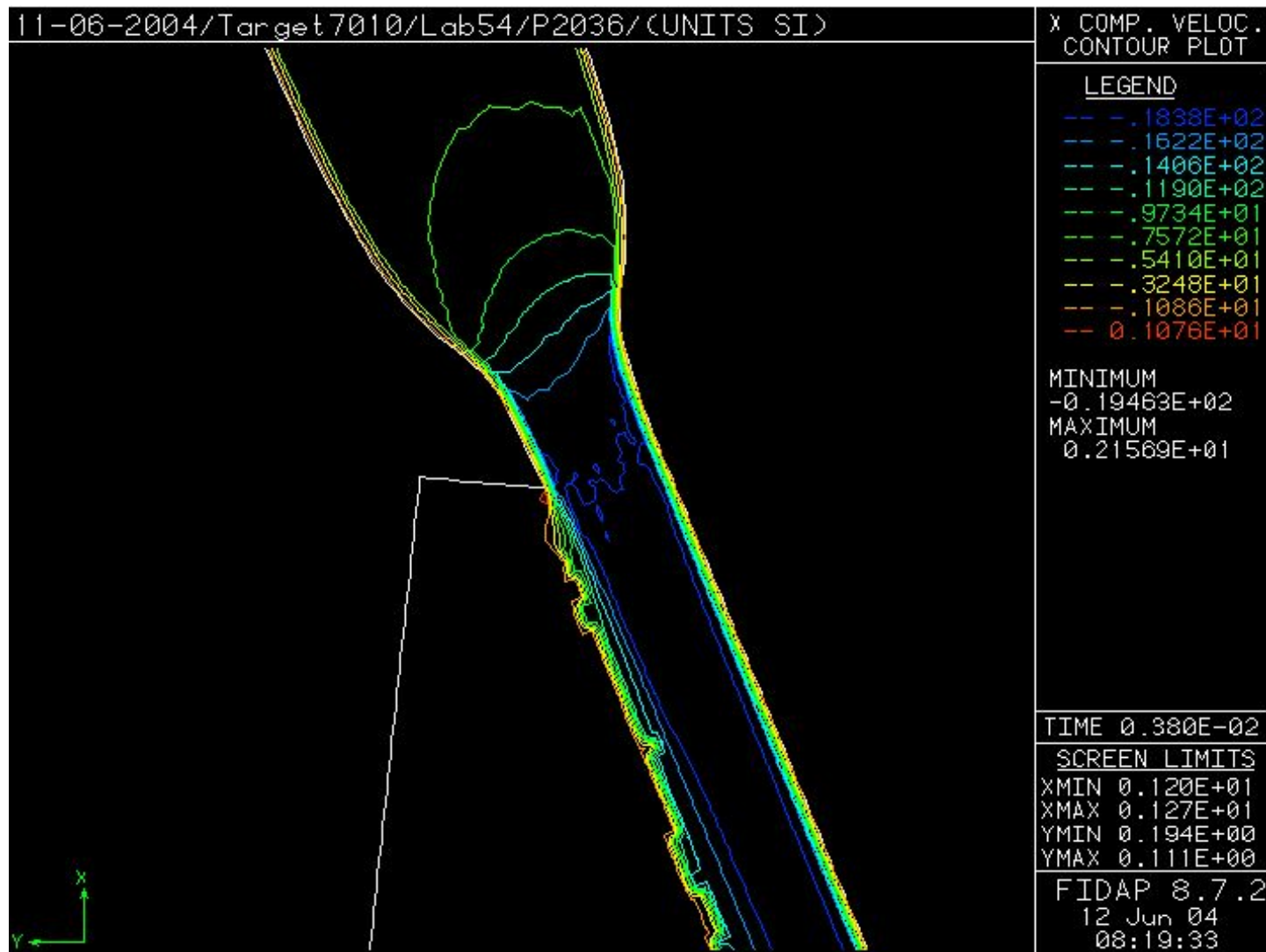


FIDAP





Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). 2D поле вертикальной составляющей скорости в области второй ступени сопла, кромки и прямолинейного 90 мм участка. УВЕЛИЧЕНИЕ

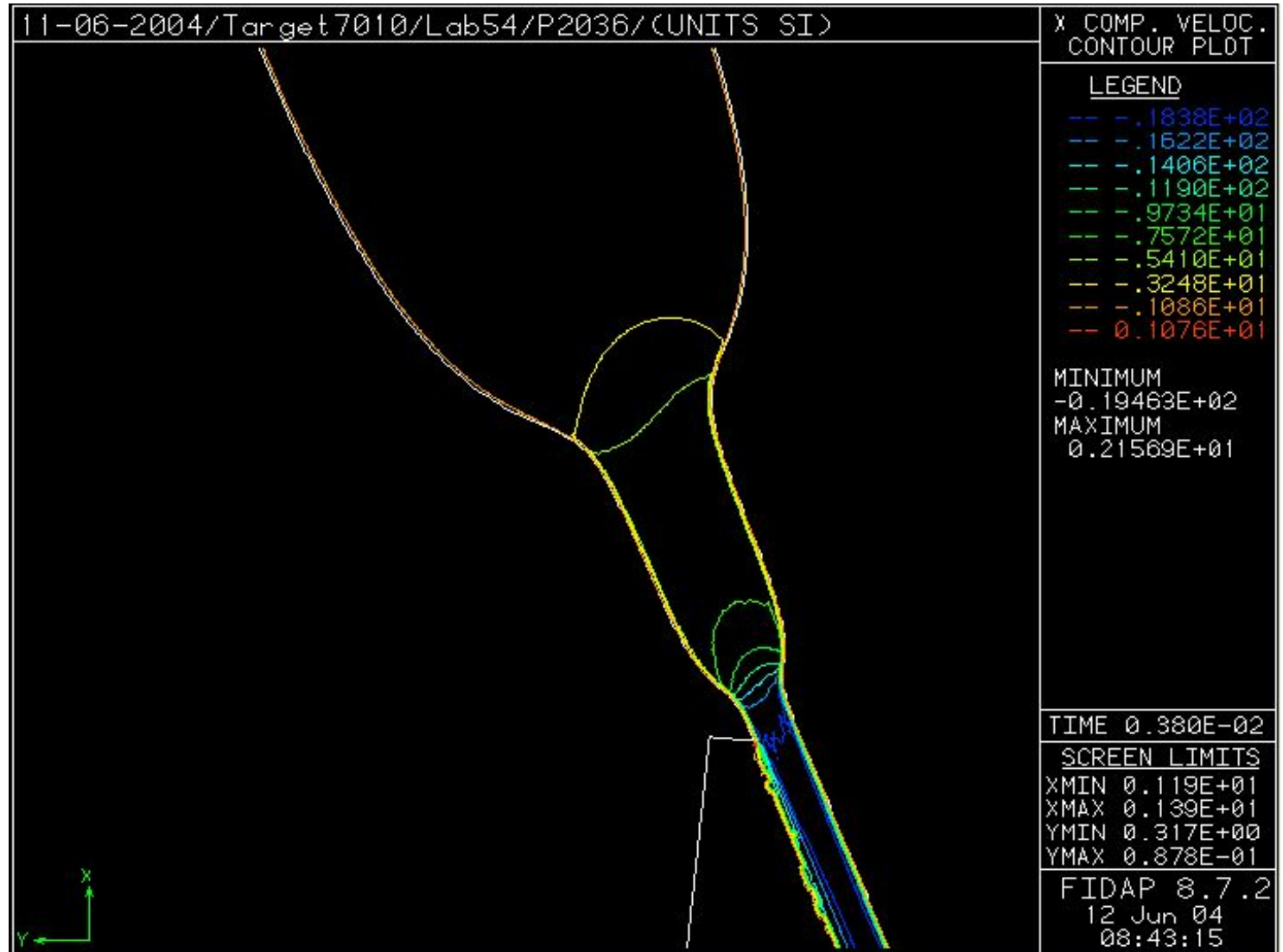


FIDAP



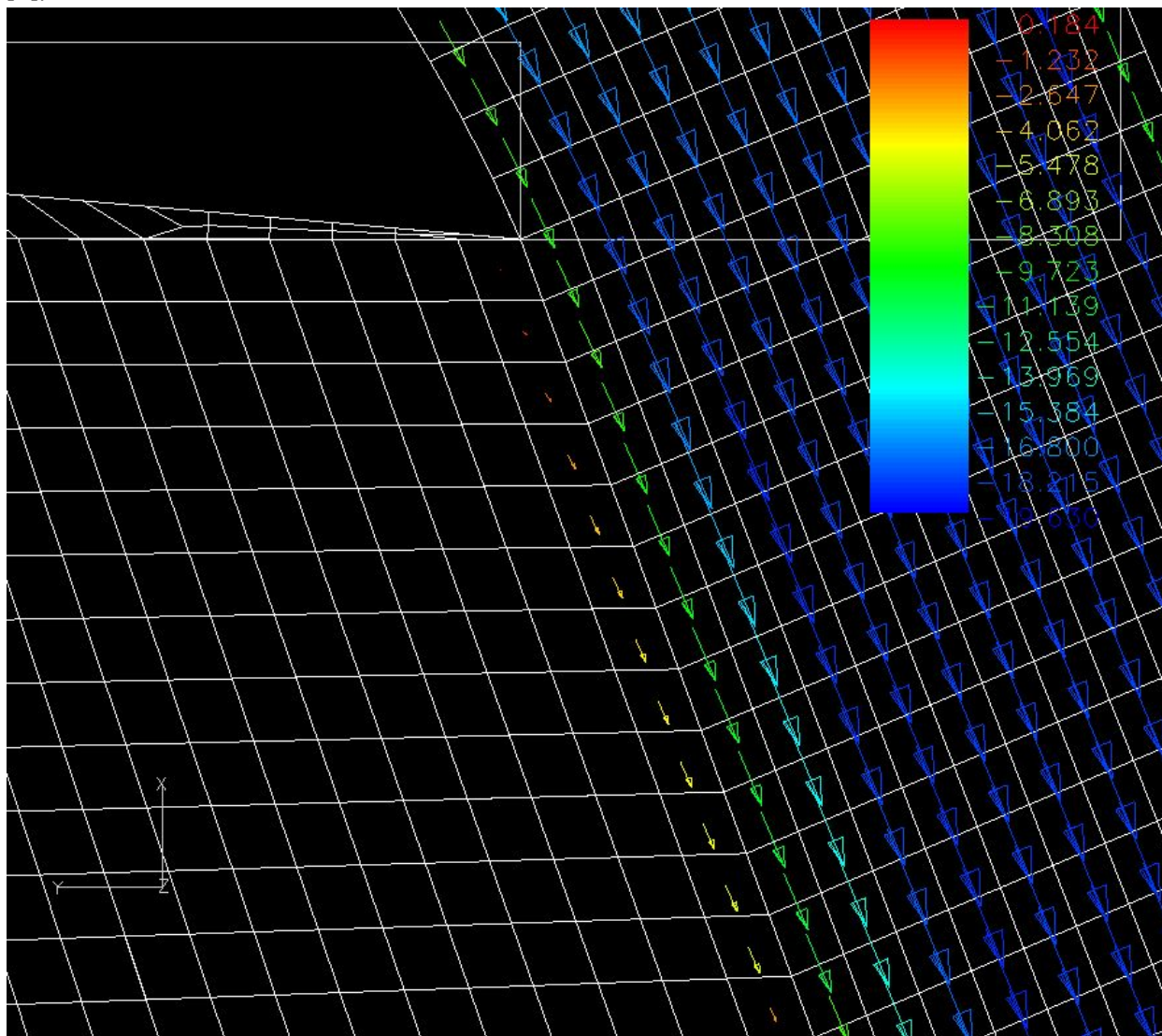


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). 2D поле вертикальной составляющей скорости внутри сопла, кромки и прямолинейного 90 мм участка



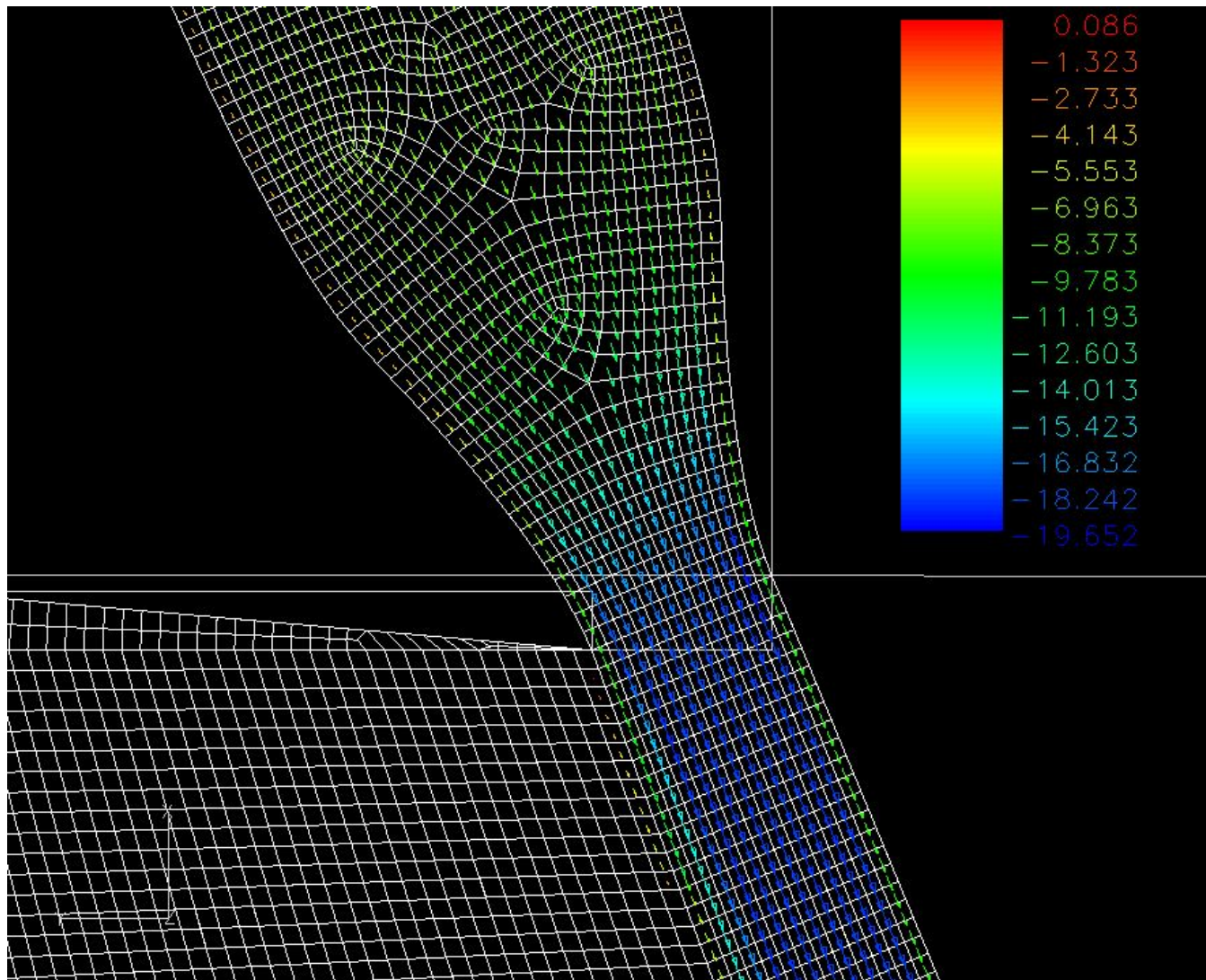


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). 2D векторное поле в области кромки (с наложением на расчетную сетку). УВЕЛИЧЕНИЕ. (построено с помощью пост-процессора FIELDVIEW v.8.1.f [3]).



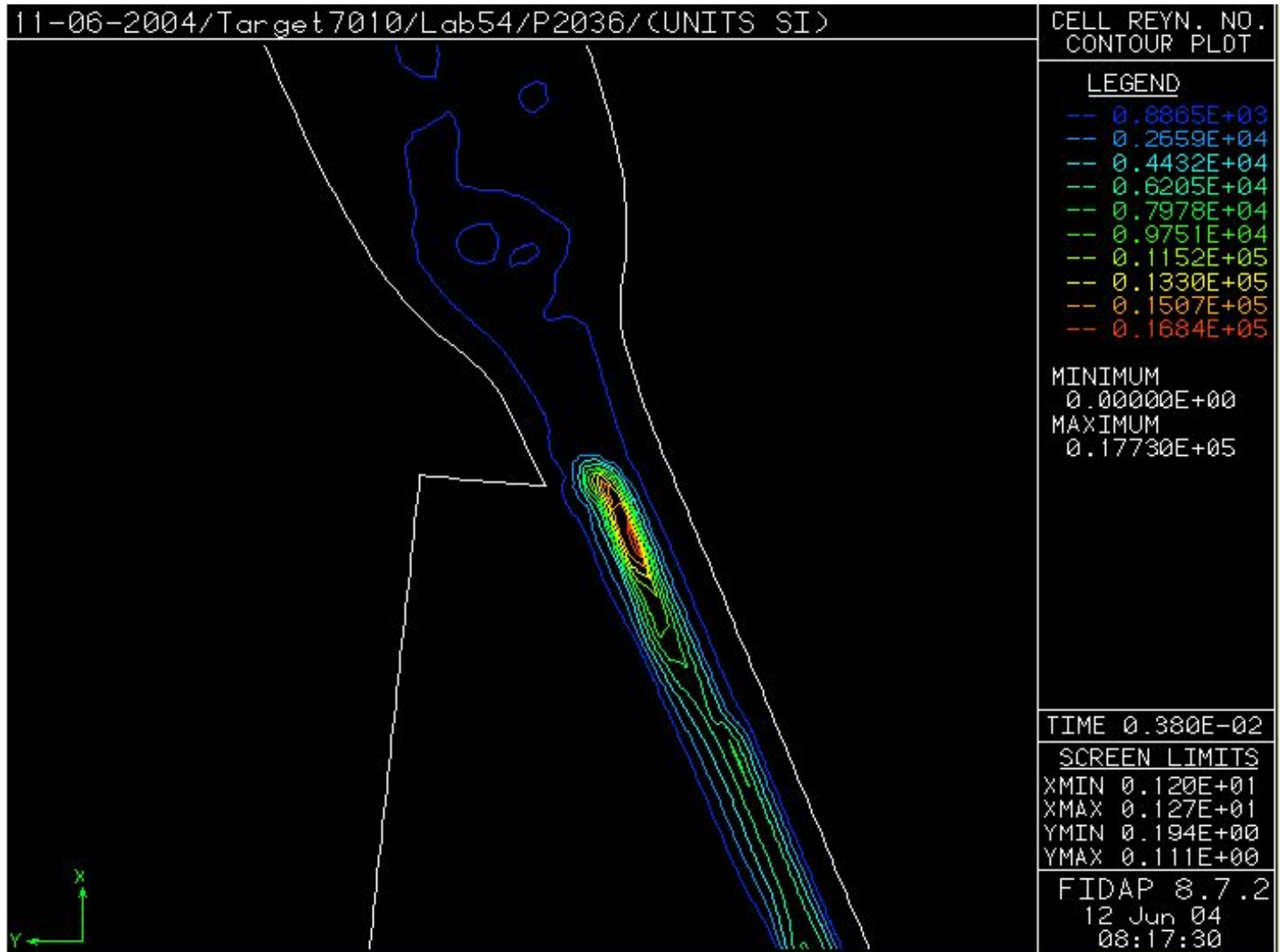


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). 2D векторное поле в области кромки (с наложением на расчетную сетку). УВЕЛИЧЕНИЕ. (построено с помощью пост-процессора FIELDVIEW v.8.1.f [3]).





Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). 2D поле турбулентного числа Рейнольдса в области второй ступени, кромки и прямолинейного участка. УВЕЛИЧЕНИЕ.

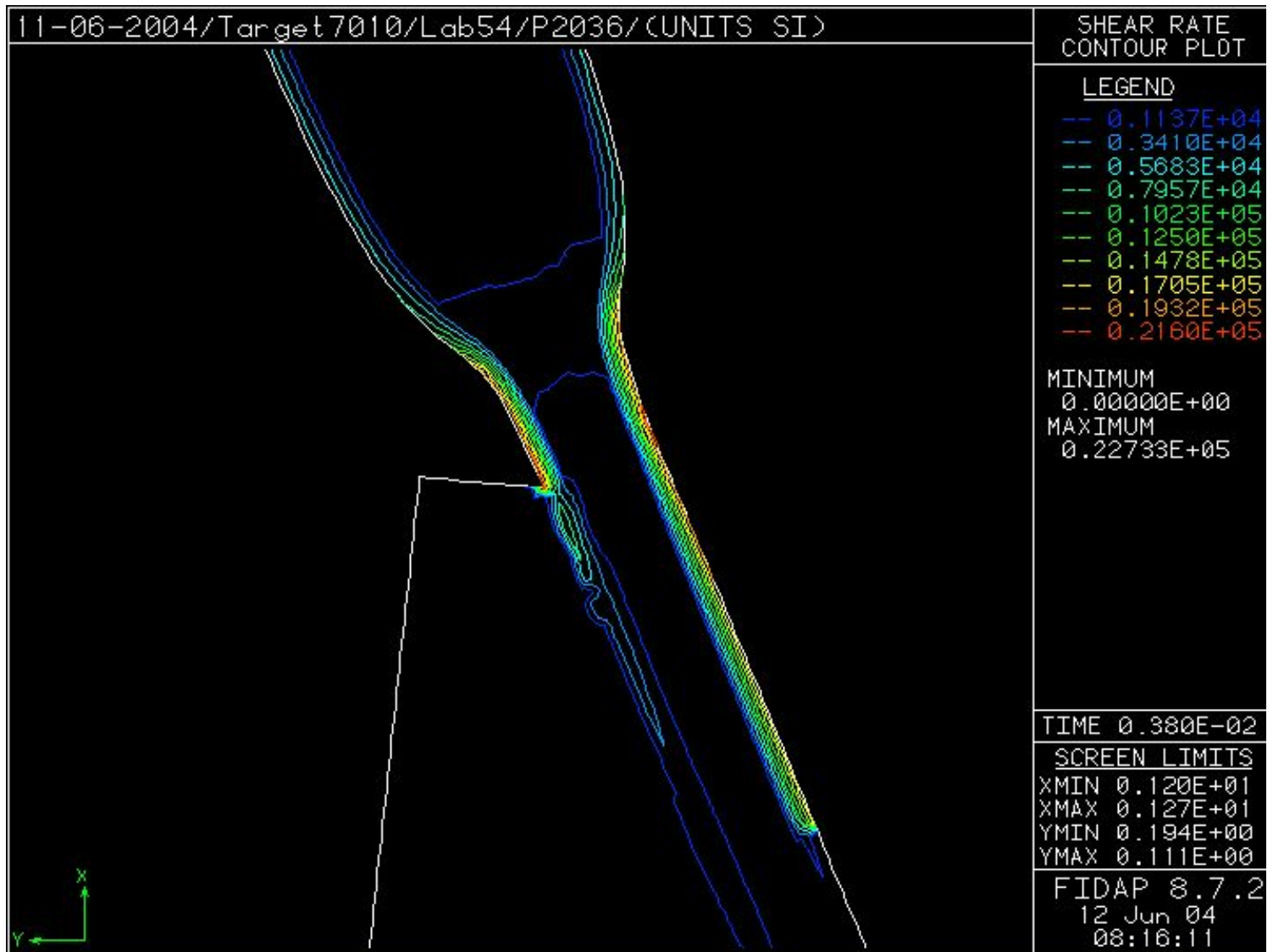


FIDAP





Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). 2D поле сдвига в области второй ступени, кромки и прямолинейного участка. УВЕЛИЧЕНИЕ.



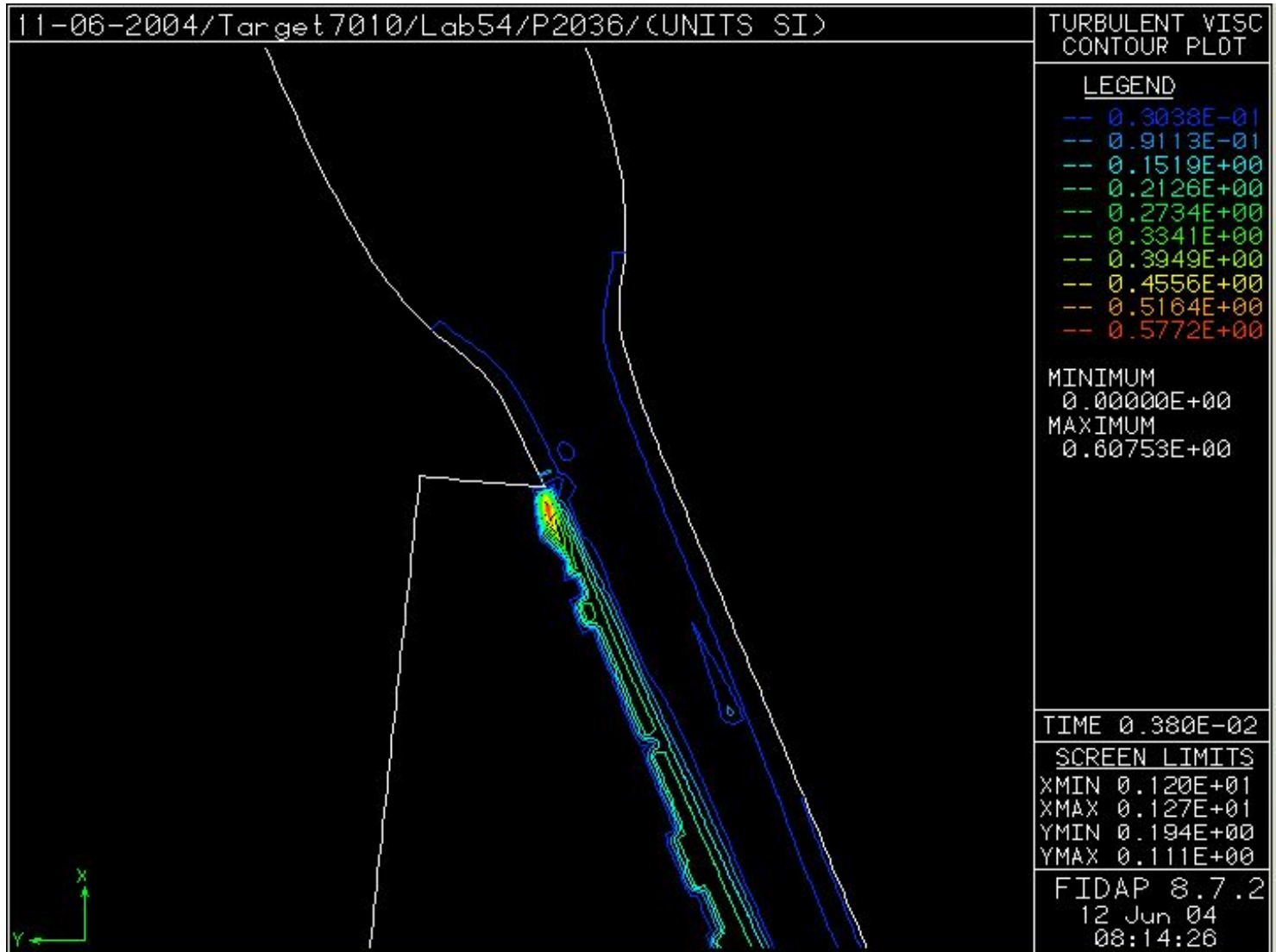
FIDAP



FLUENT
INCORPORATED



Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). 2D поле турбулентной вязкости в области второй ступени, кромки и прямолинейного участка. УВЕЛИЧЕНИЕ.



FIDAP

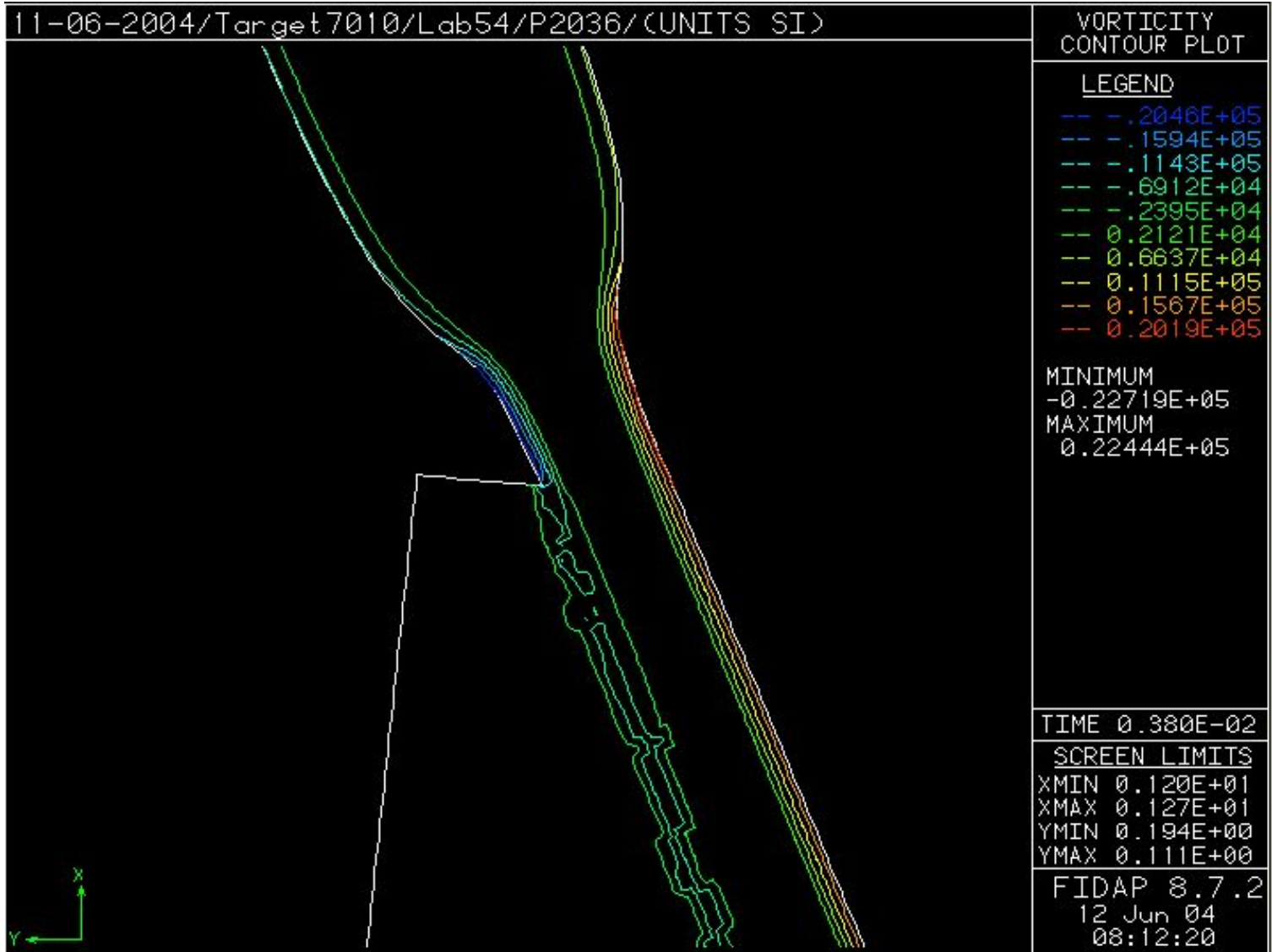


FLUENT
INCORPORATED



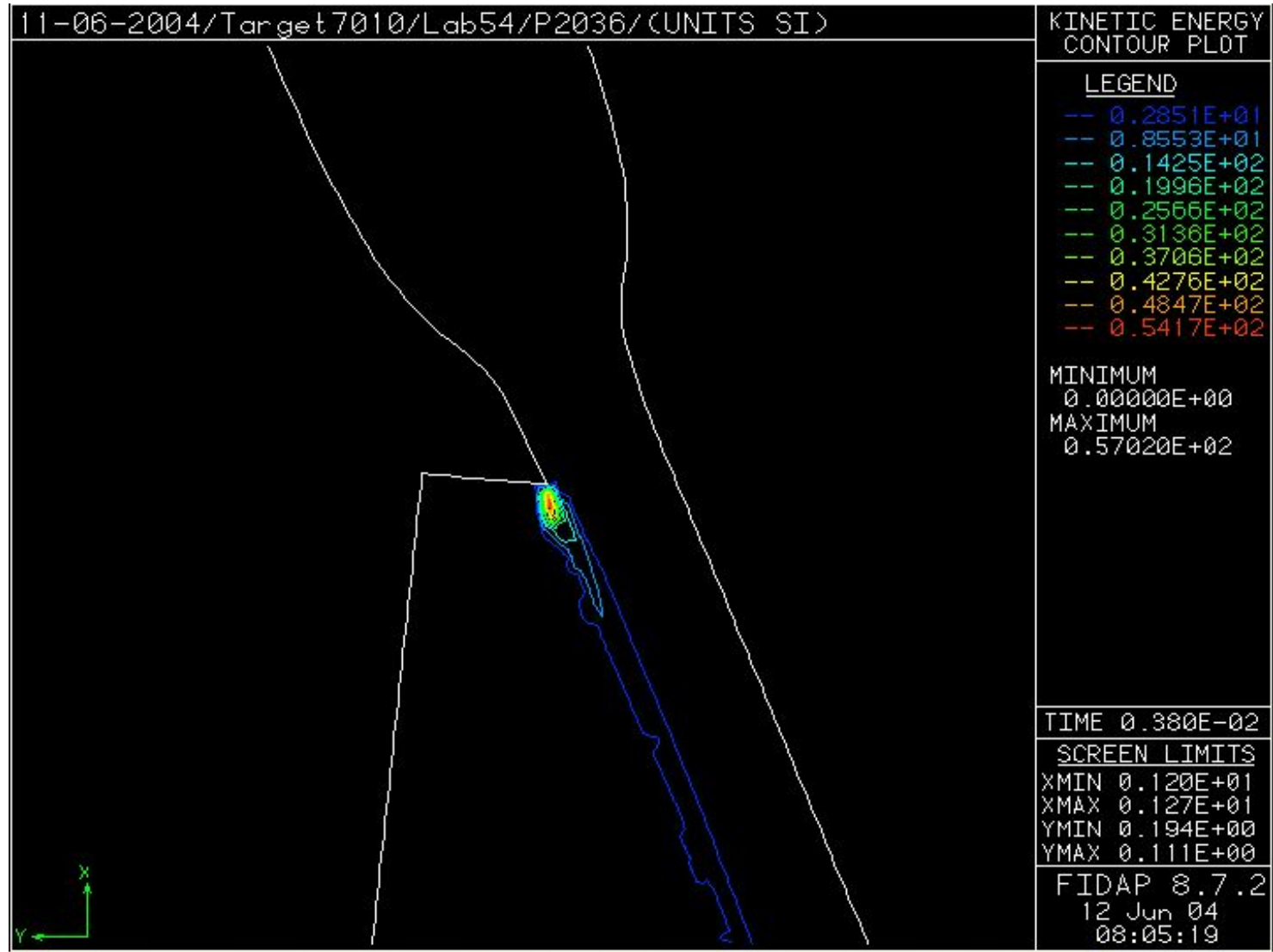


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). 2D поле завихренности в области второй ступени, кромки и прямолинейного участка. УВЕЛИЧЕНИЕ.





Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). 2D поле турбулентной кинетической энергии в области второй ступени, кромки и прямолинейного участка. УВЕЛИЧЕНИЕ.



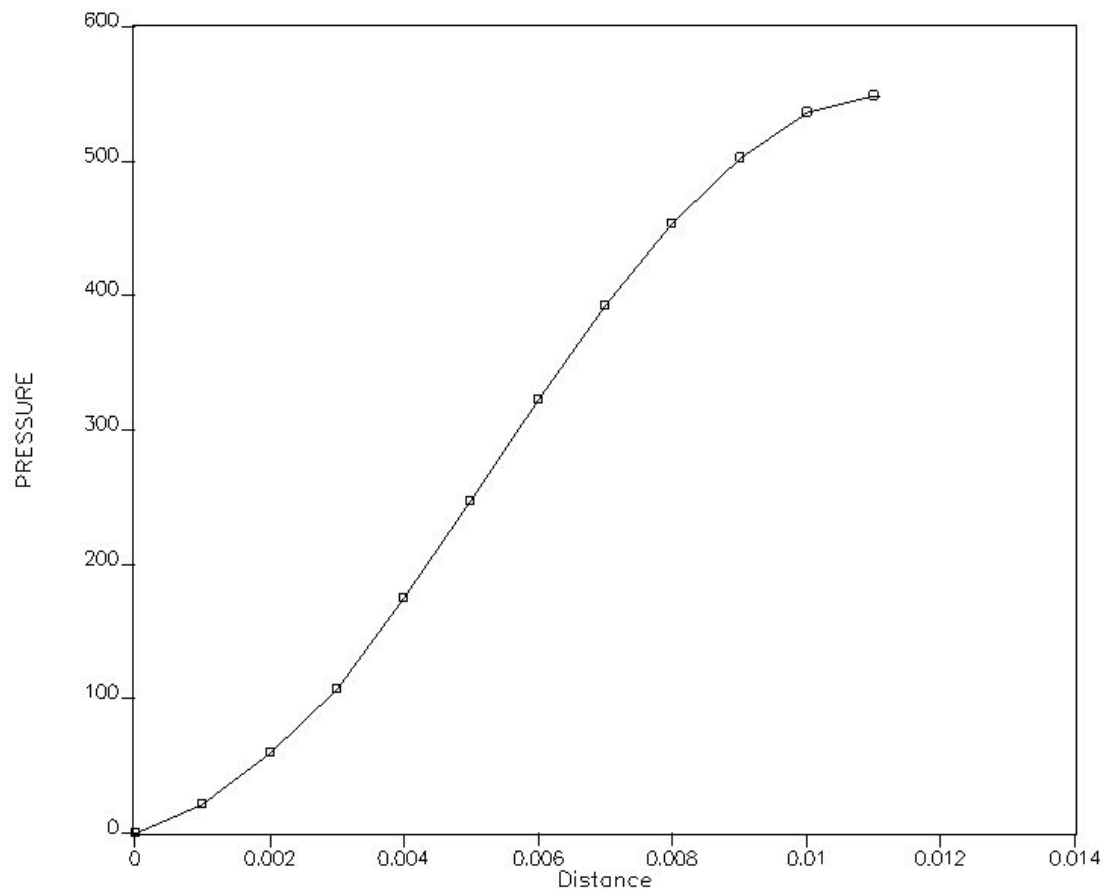


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение).

1D распределение давления (Pa) в области сопряжения прямолинейного наклонного участка и криволинейной части (угол $22^{\circ}30'$ от оси симметрии пучка).

Отсчет от свободной поверхности.

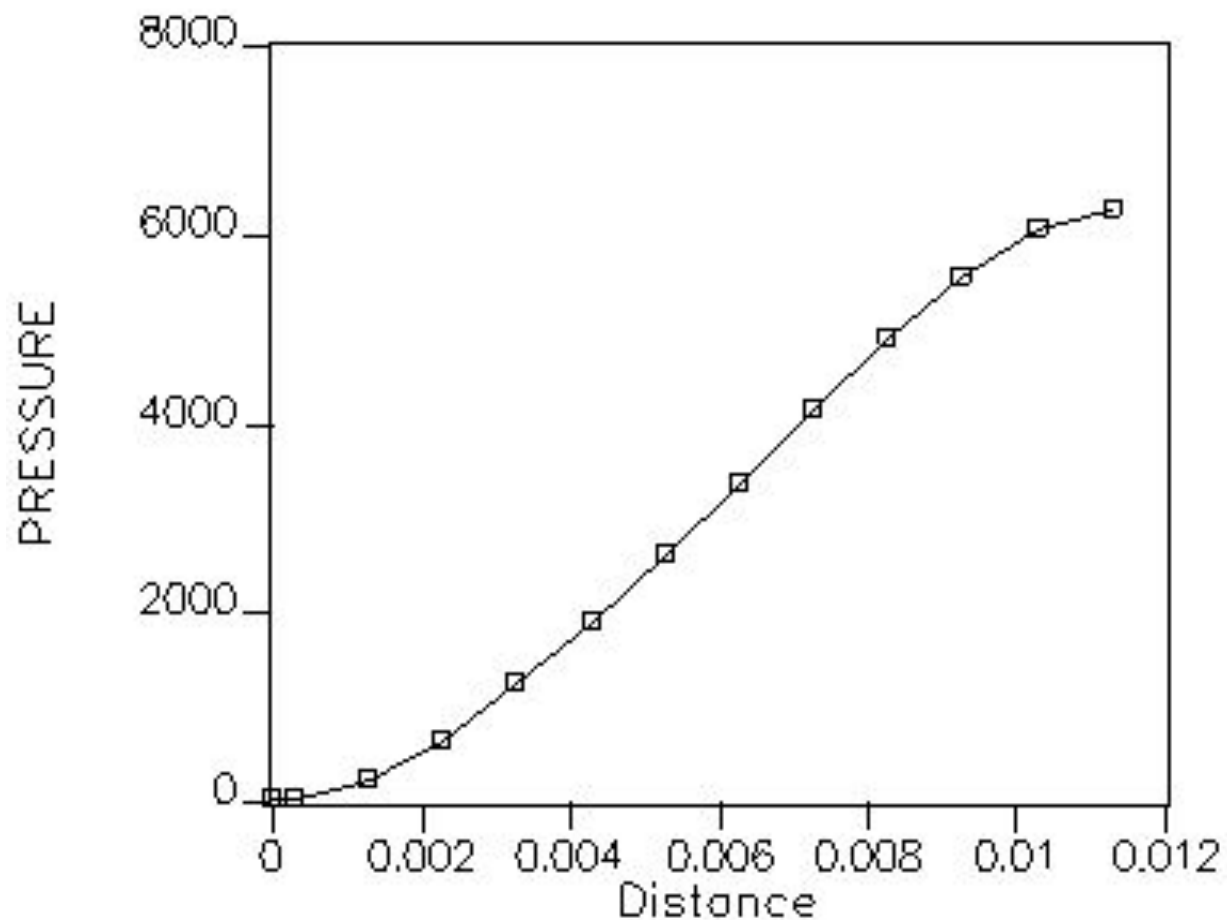
Примечание : вследствие гидродинамического прыжка с повышением уровня толщина струи в сечении составляет 11.0 мм





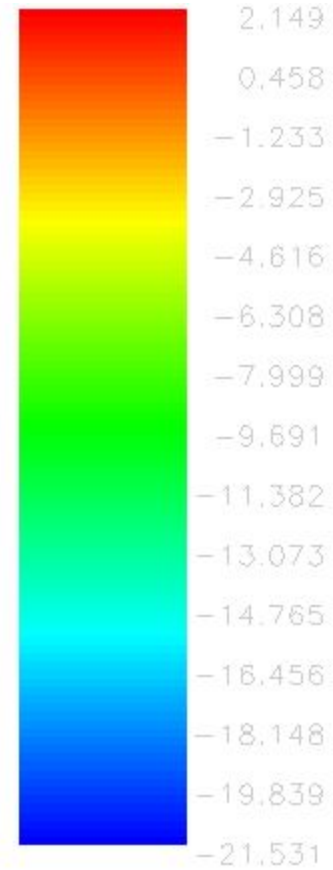
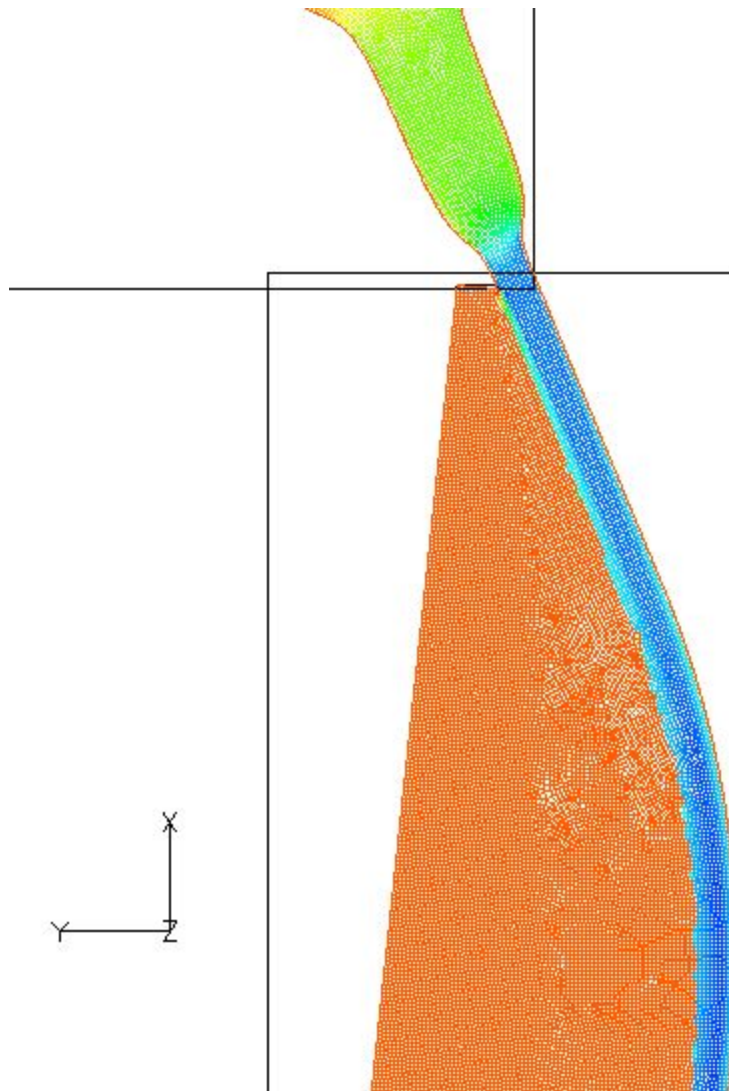
Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). 1D распределение давления (Pa) в области оси симметрии пучка (угол 0°). Отсчет от свободной поверхности.

Примечание : вследствие гидродинамического прыжка с повышением уровня толщина струи в сечении составляет 11.5 мм



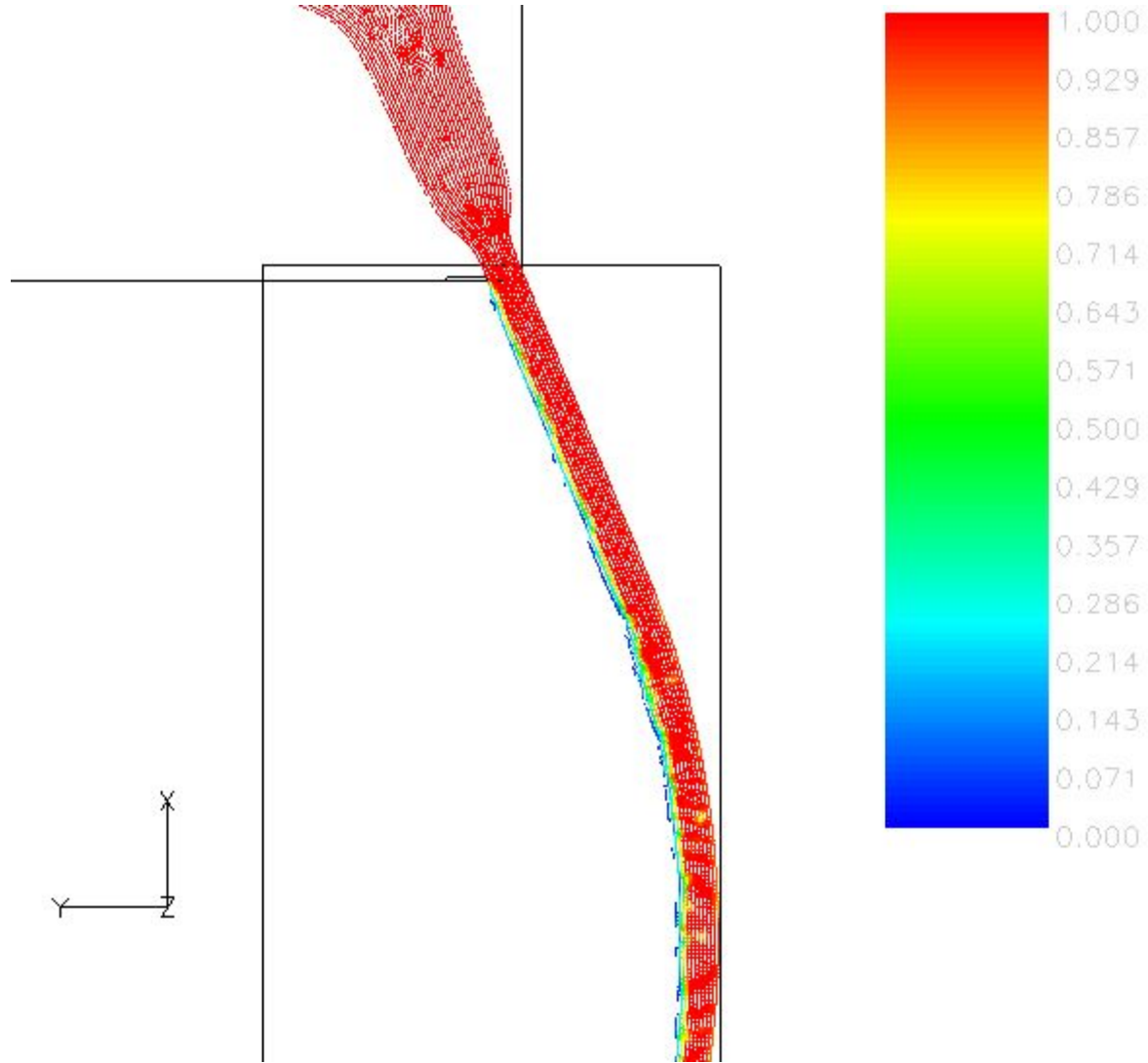


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение)



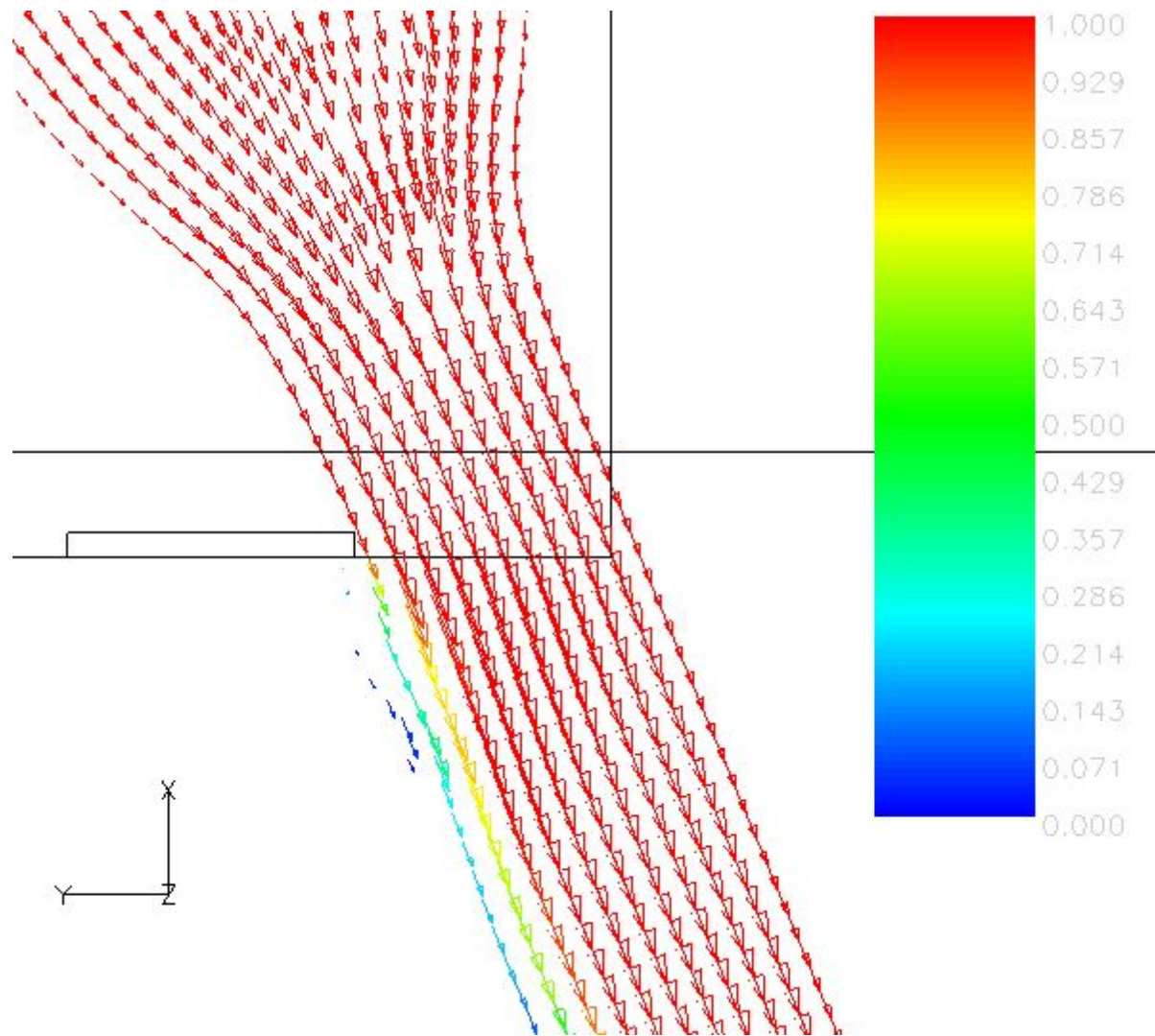


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). Векторное поле и функция FILLING для сечения струи лития



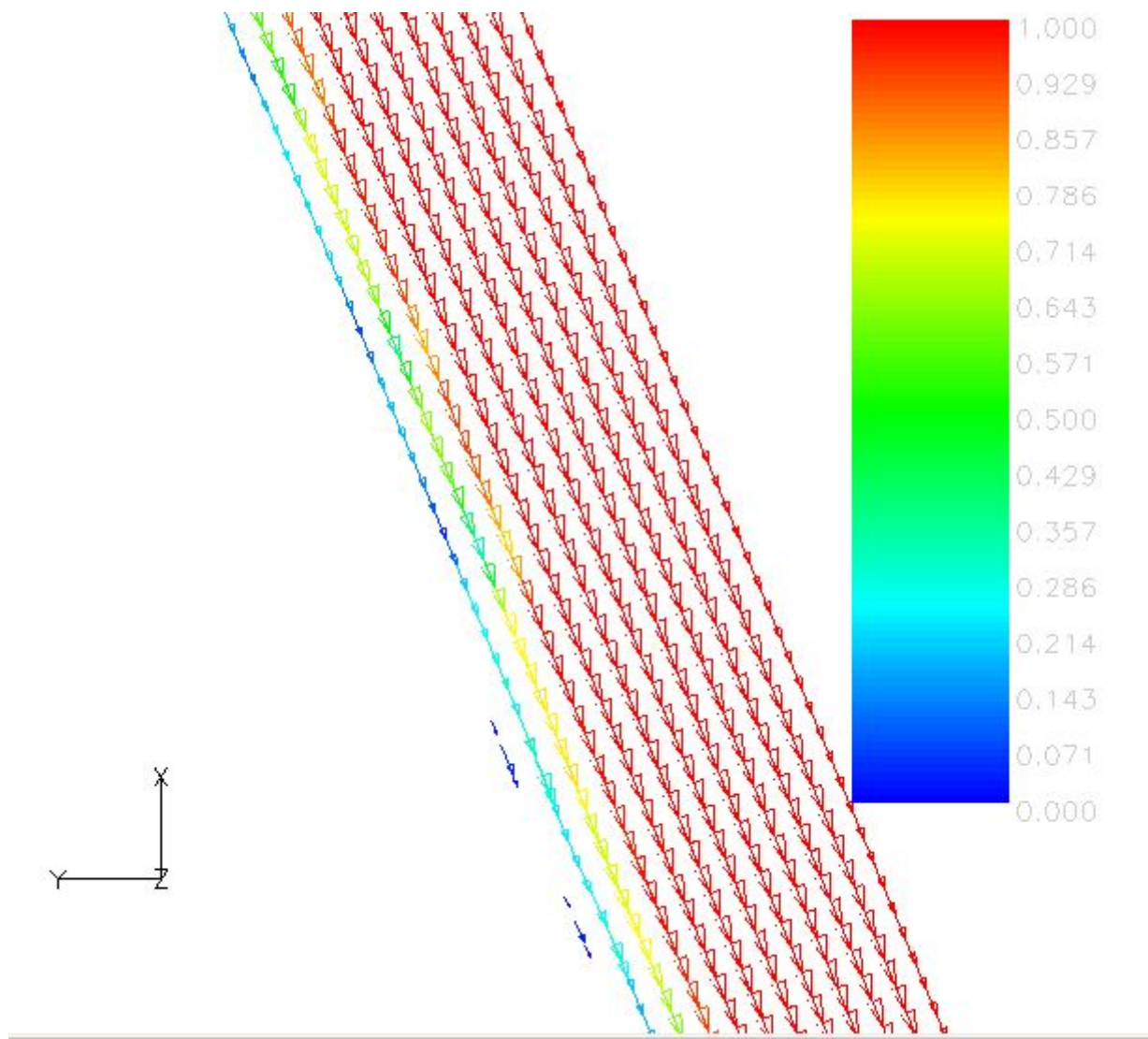


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). Векторное поле и функция FILLING для сечения струи лития



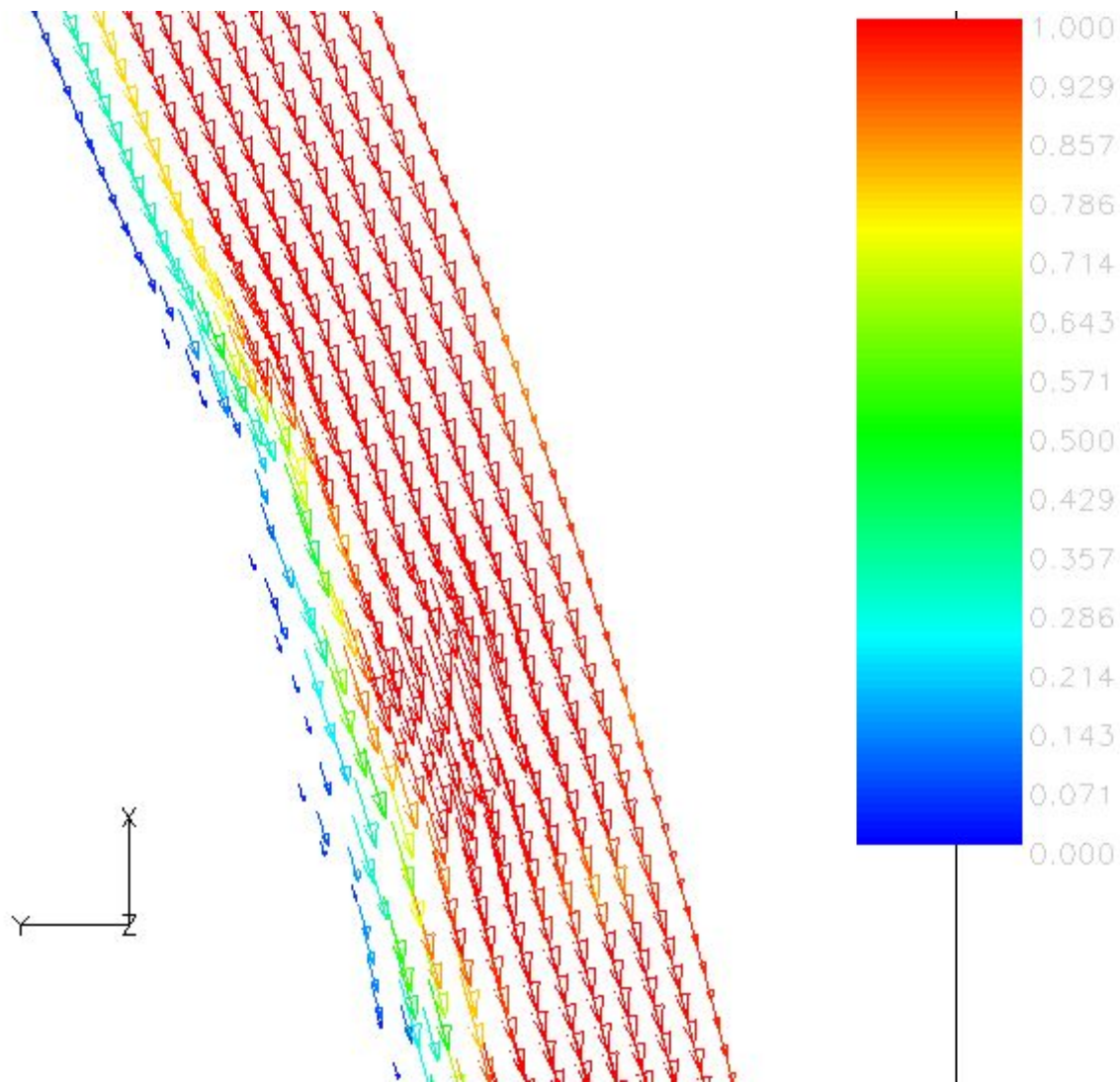


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). Векторное поле и функция FILLING для сечения струи лития



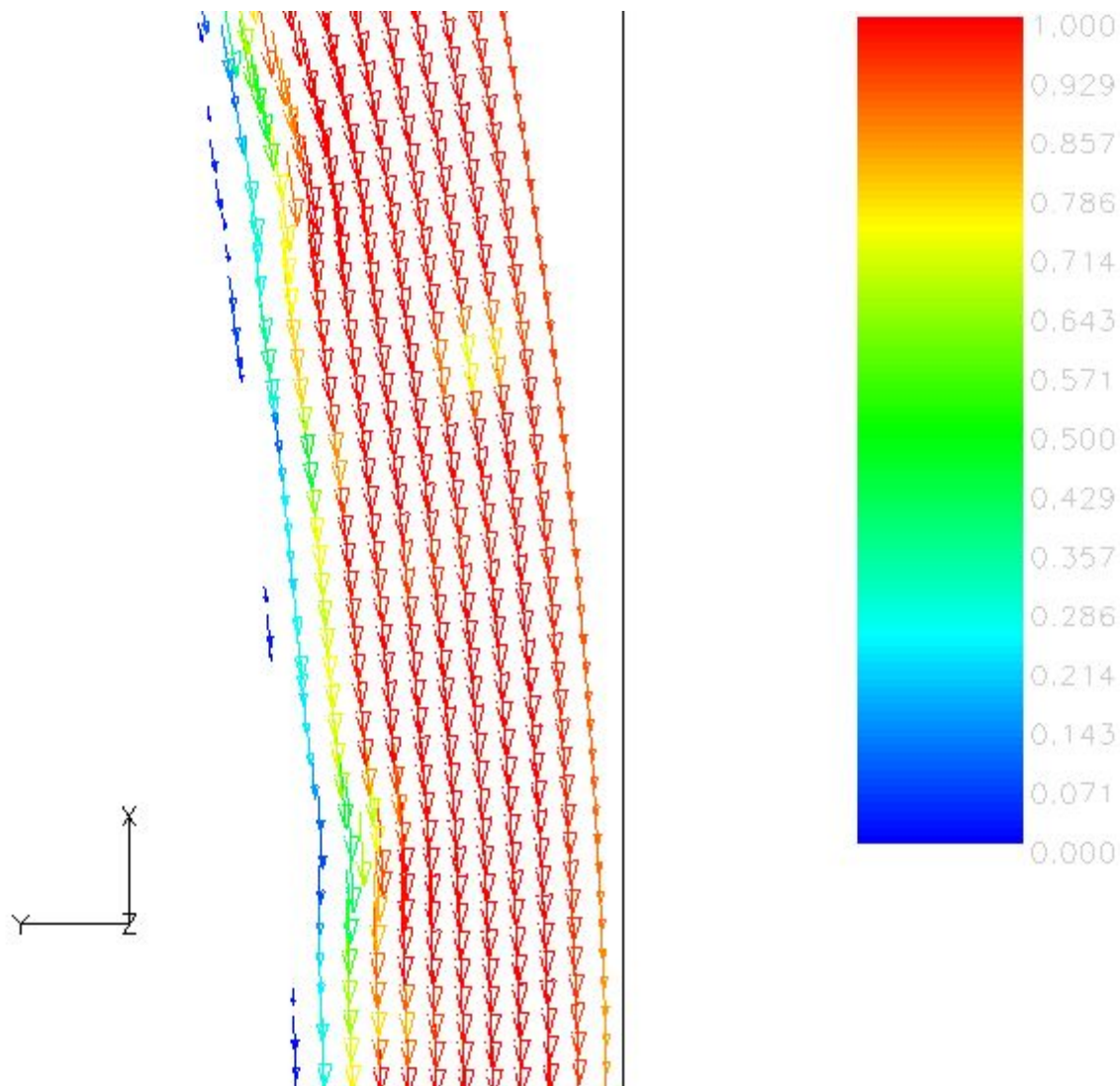


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). Векторное поле и функция FILLING для сечения струи лития



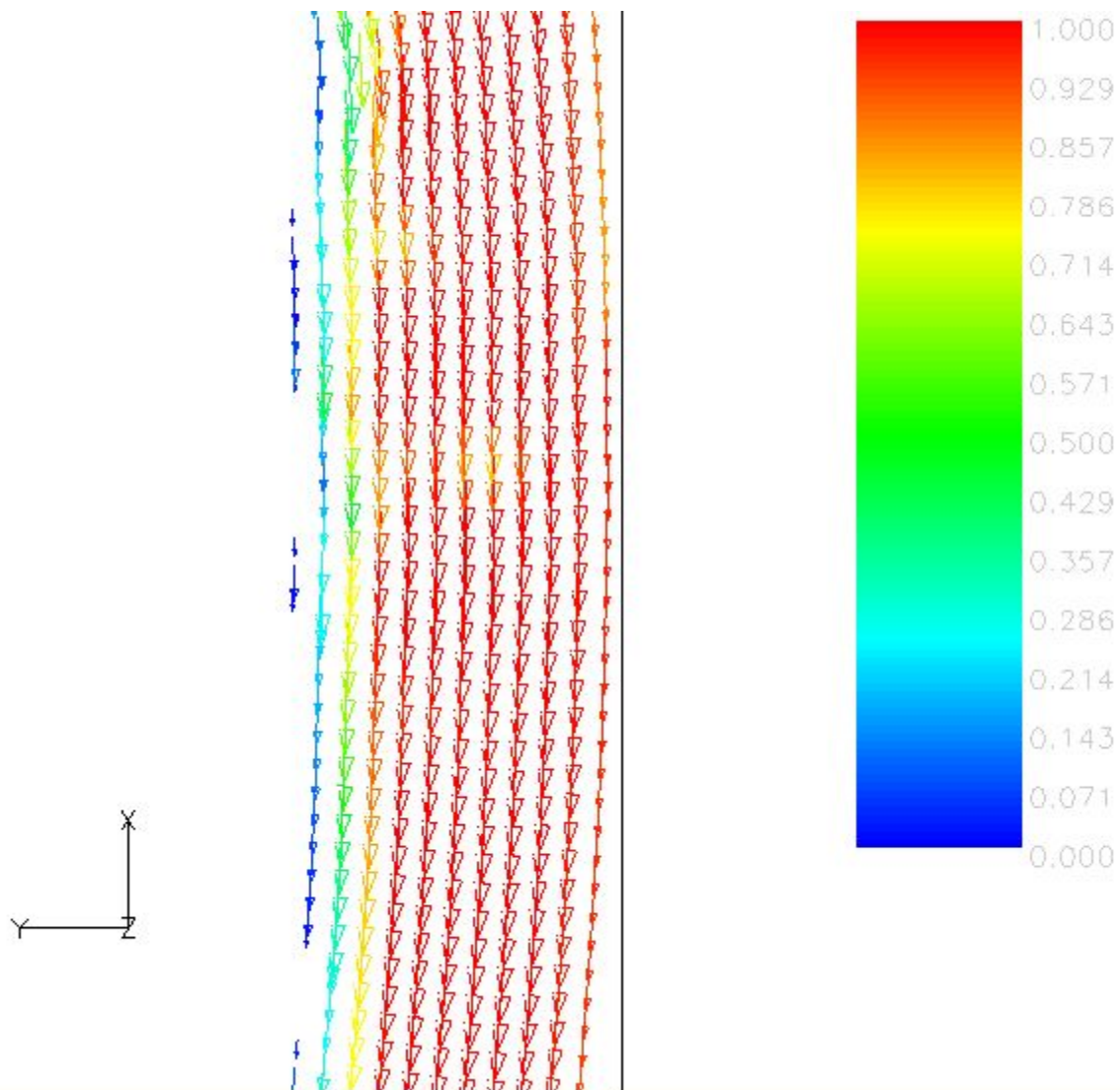


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). Векторное поле и функция FILLING для сечения струи лития



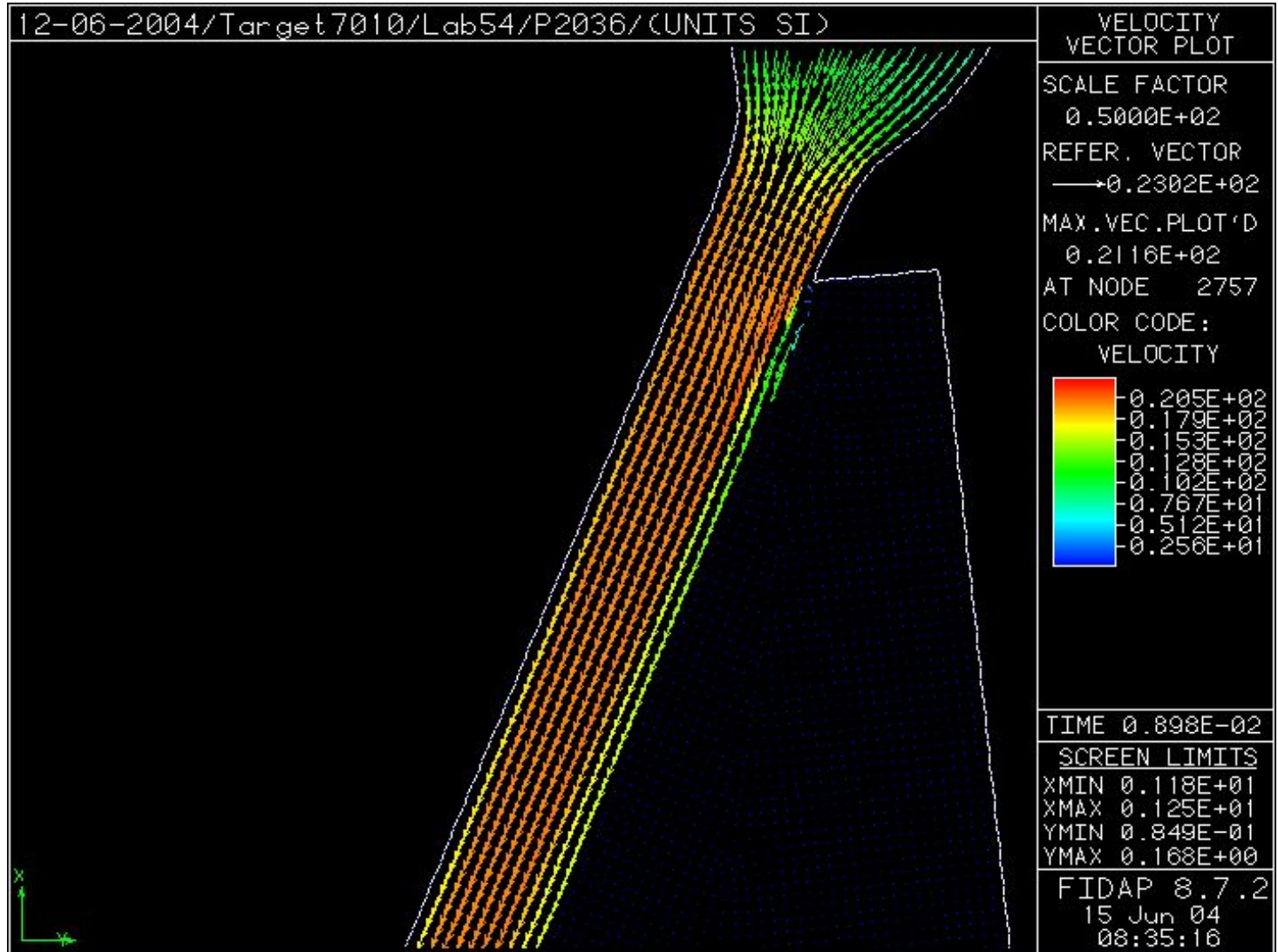


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). Векторное поле и функция FILLING для сечения струи лития





Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). Векторное поле на выходе из второй ступени сопла SHIMA

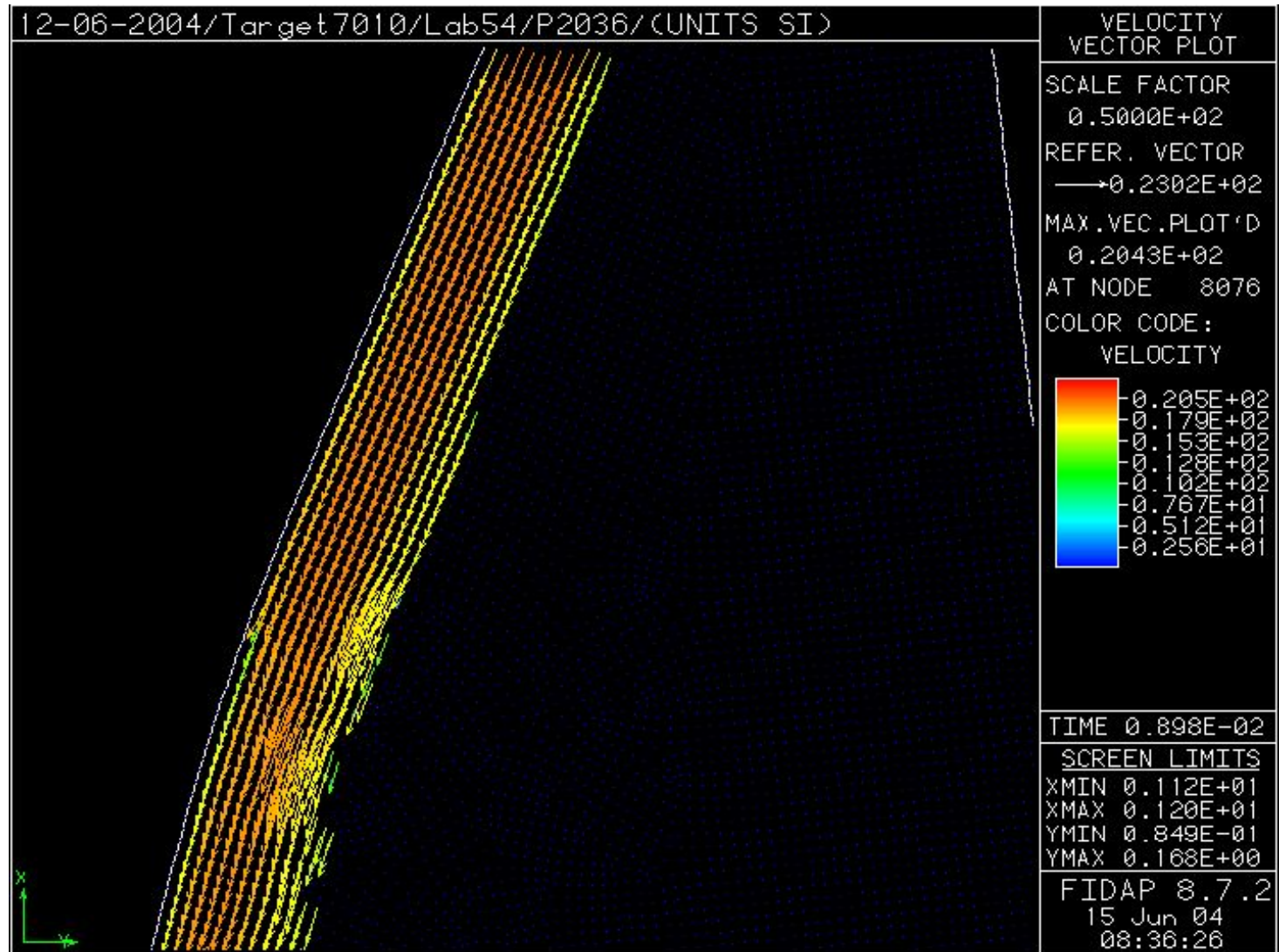


FIDAP





Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). Векторное поле на выходе из второй ступени сопла SHIMA



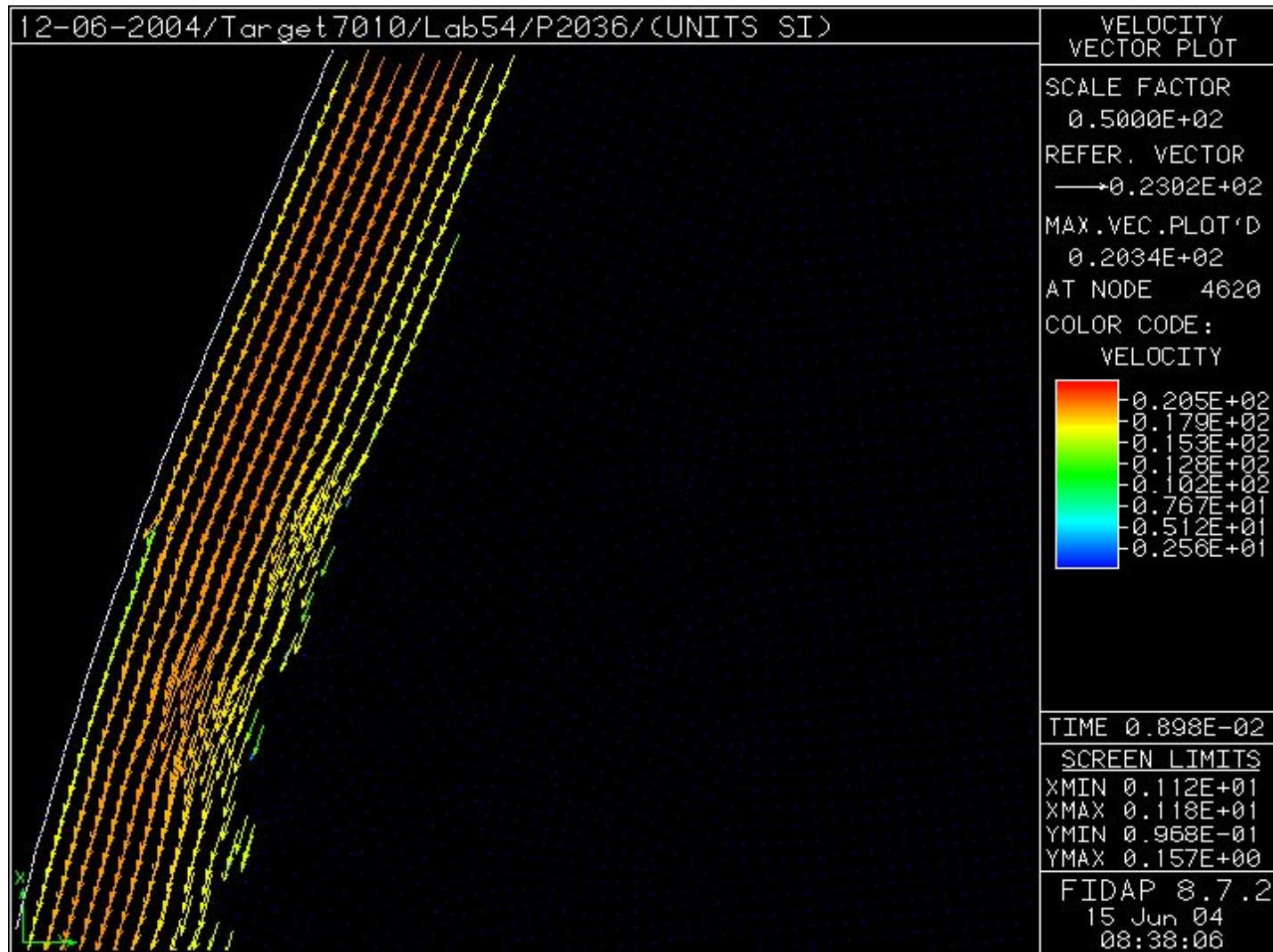
FIDAP



FLUENT
INCORPORATED



Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение)

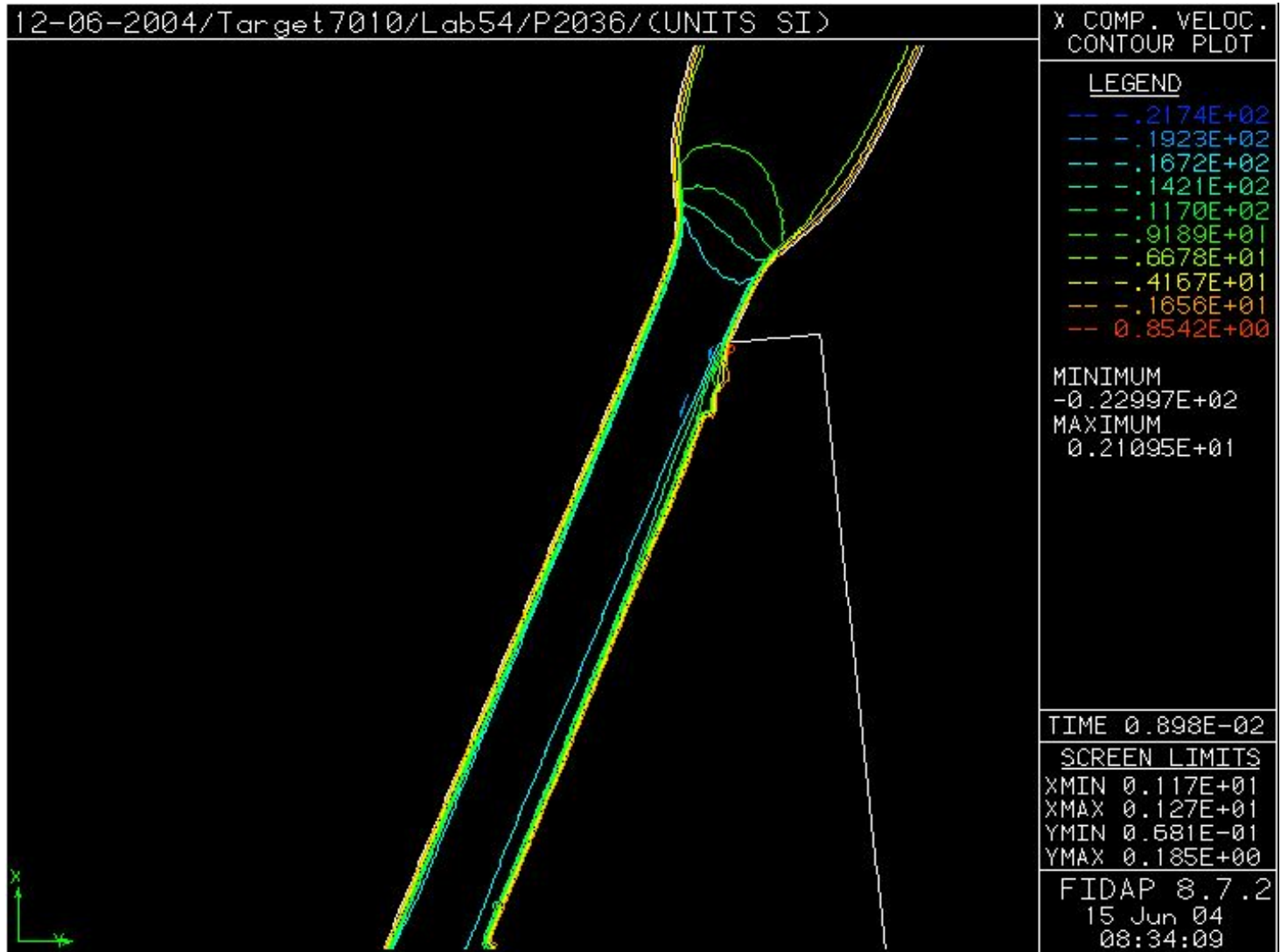


FIDAP





Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). Вертикальная компонента поля скорости.

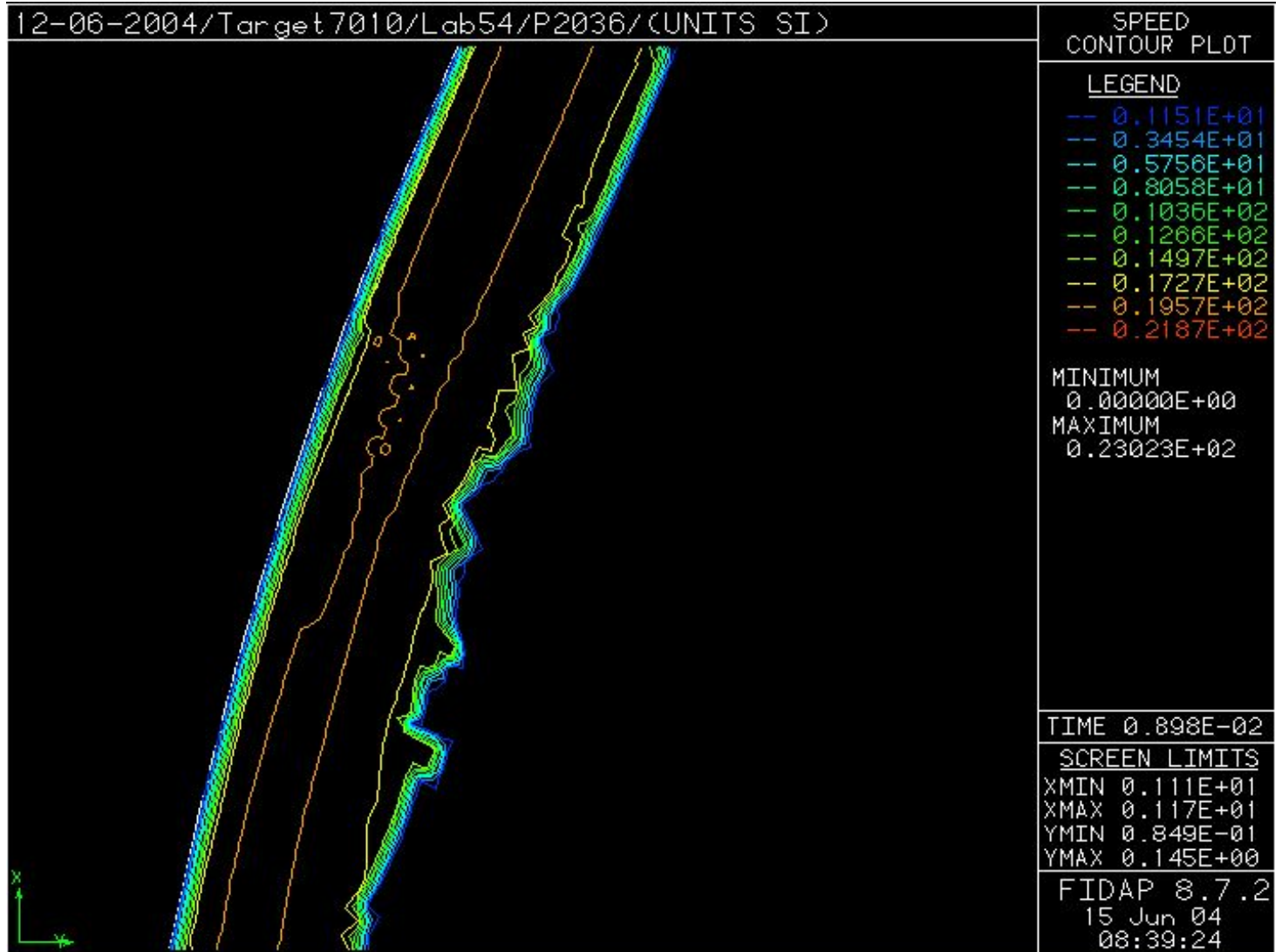


FIDAP





Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). Вертикальная компонента поля скорости.



FIDAP





Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). Горизонтальная компонента поля скорости.

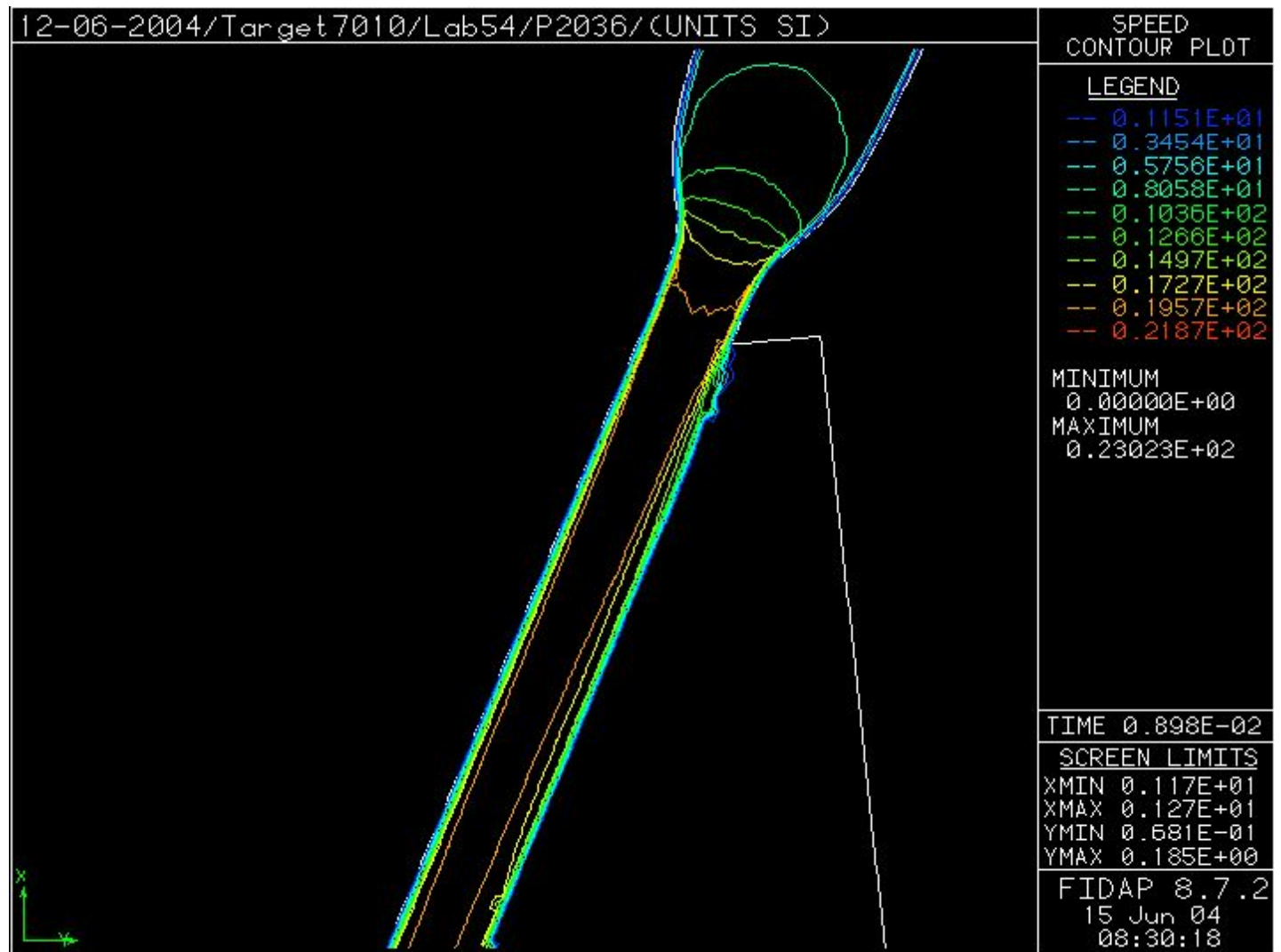


FIDAP





Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). Поле скорости.

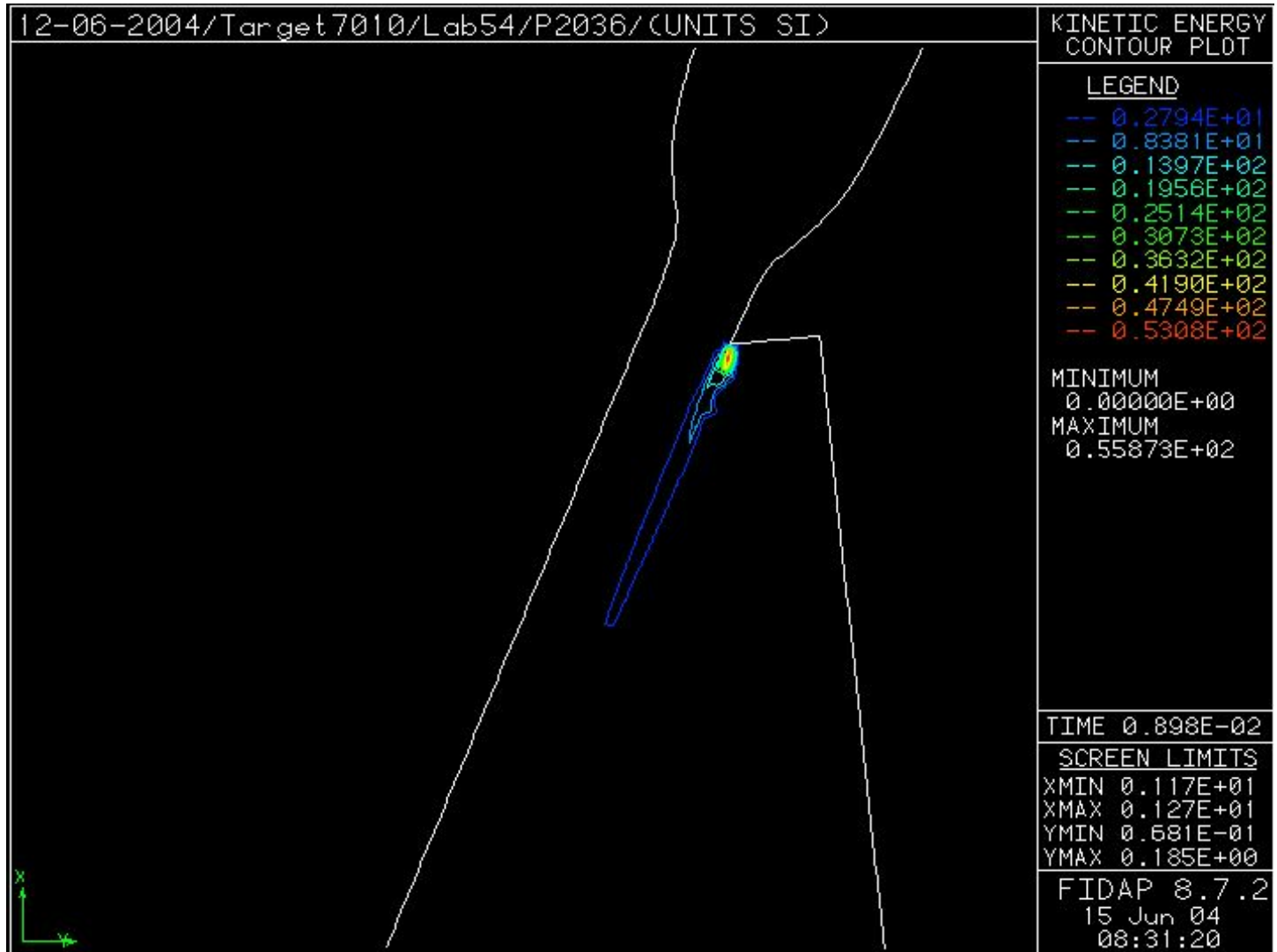


FIDAP





Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). Поле турбулентной кинетической энергии.

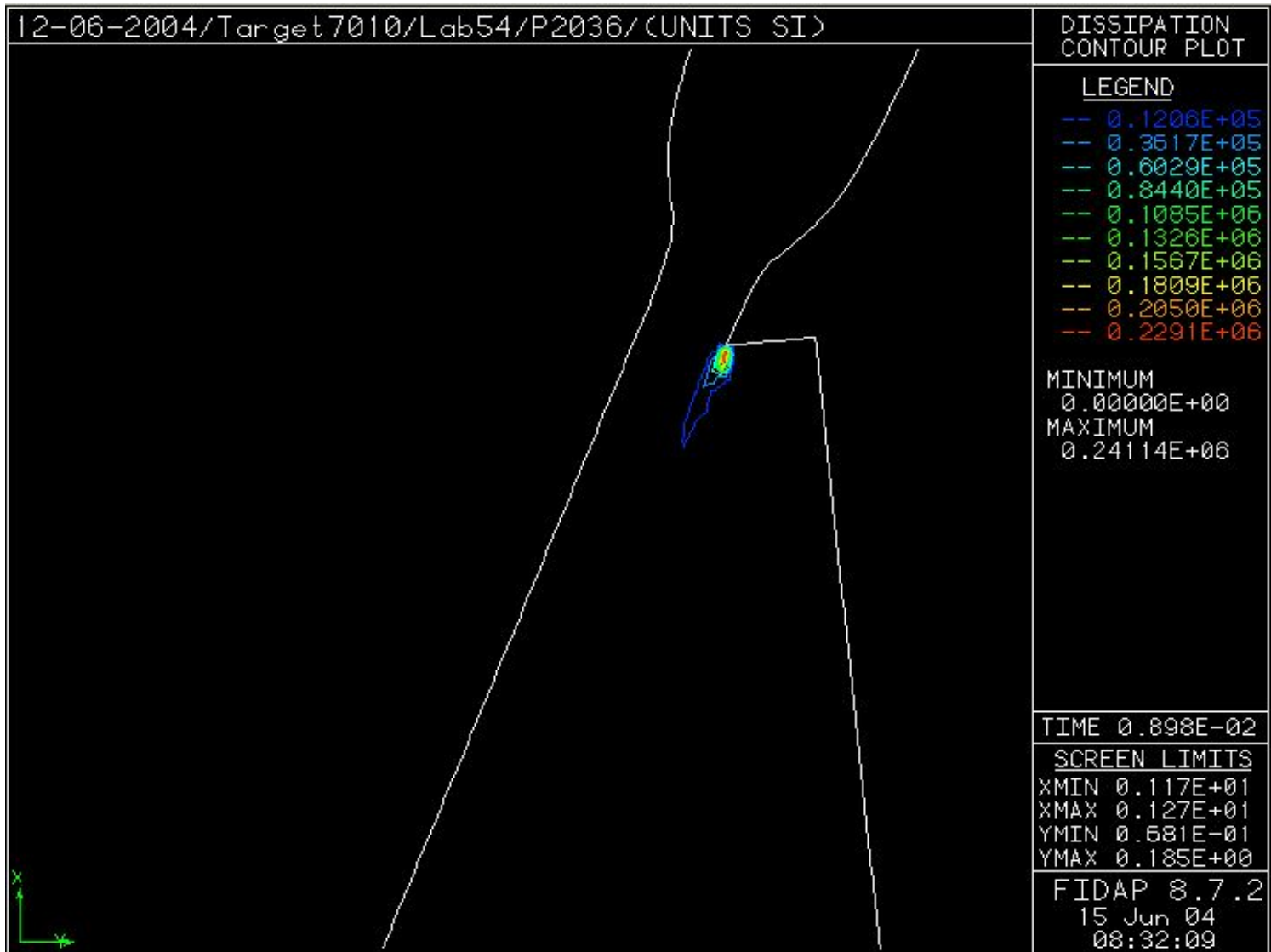


FIDAP





Вариант кромки сопла 62°30' (проектное значение). Распределение диссипации турбулентной энергии.

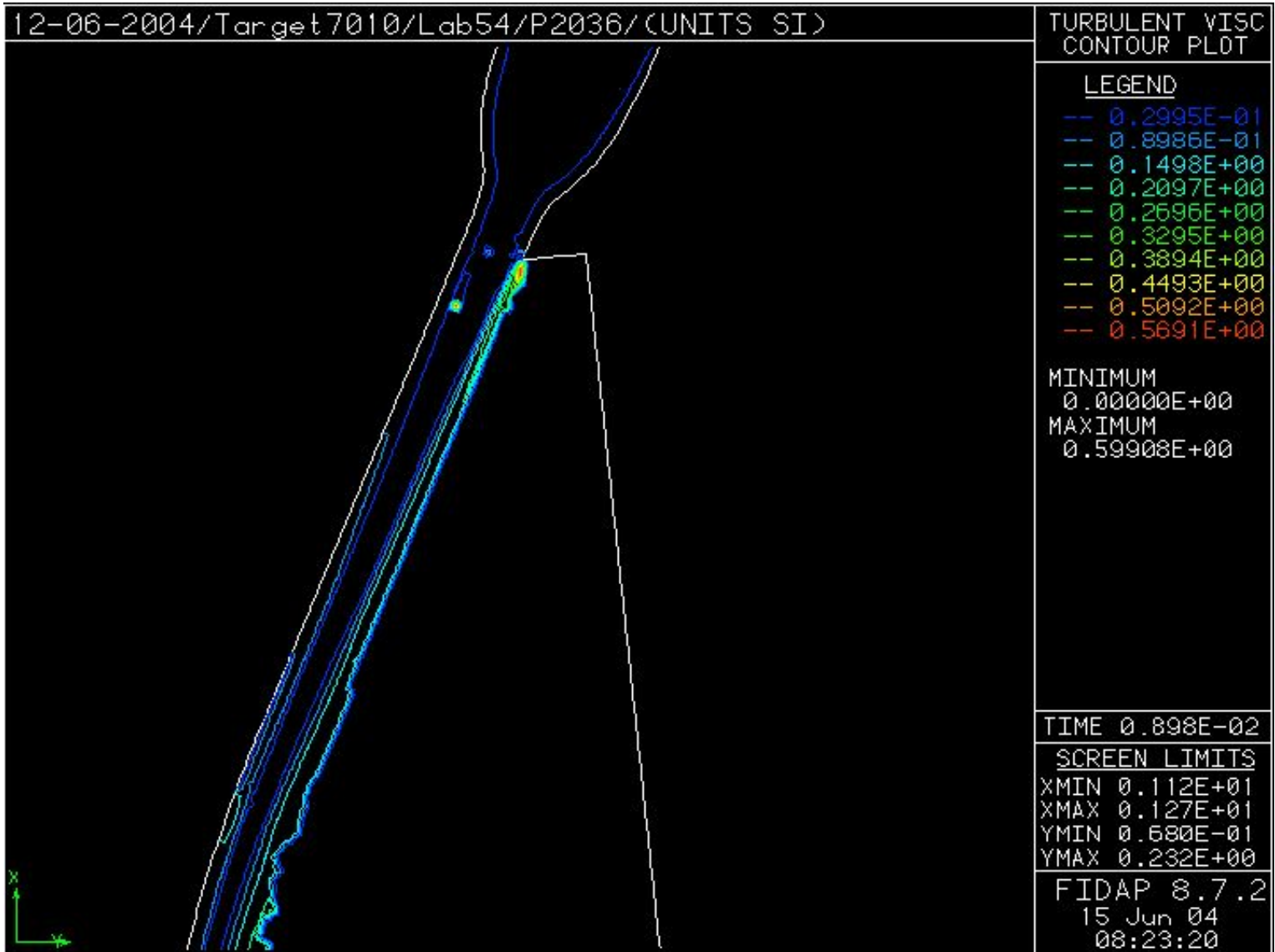


FIDAP





Вариант кромки сопла 62°30' (проектное значение). Распределение турбулентной вязкости.



FIDAP

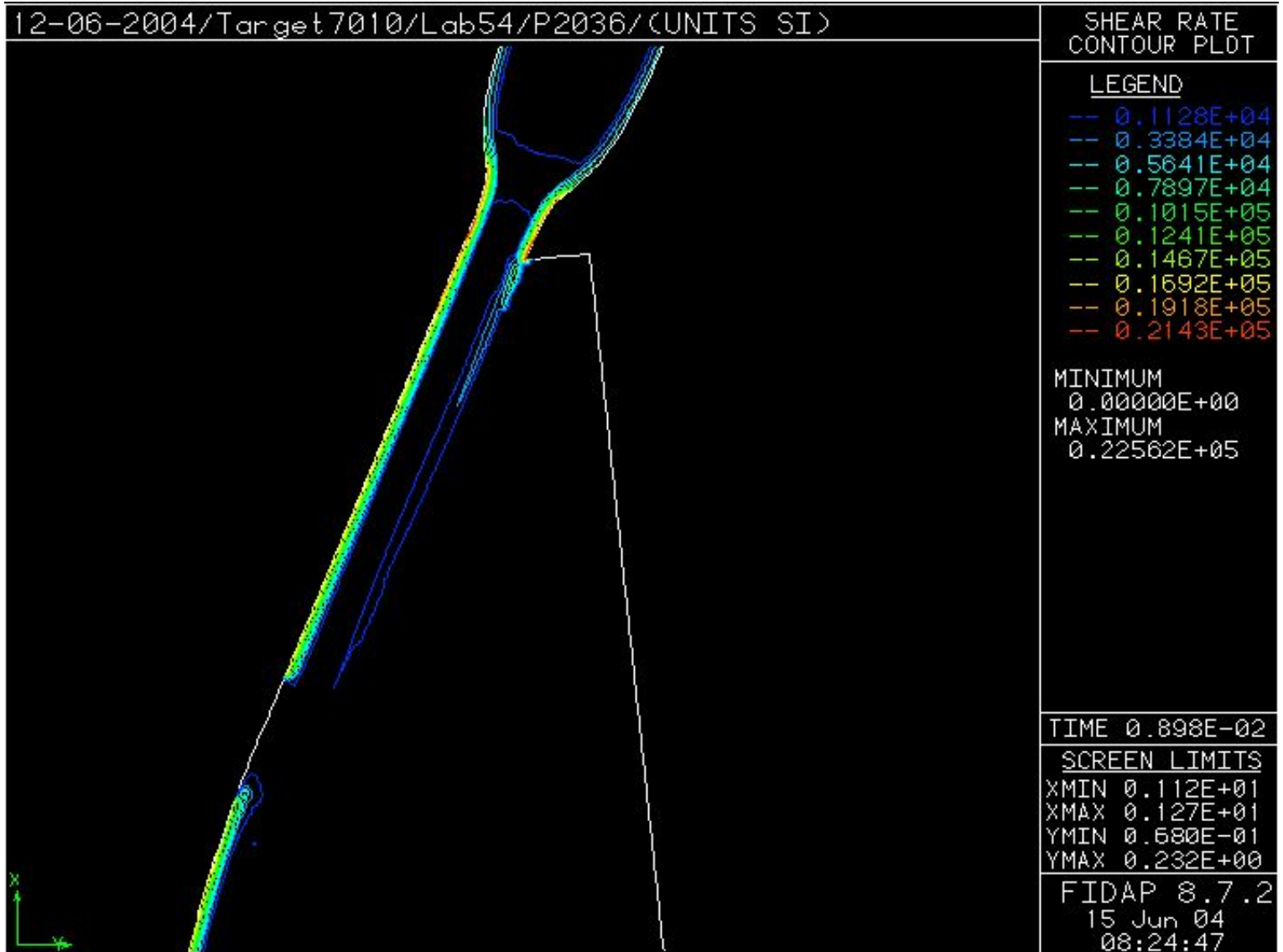


FLUENT
INCORPORATED





Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). Распределение поля сдвига.



FIDAP

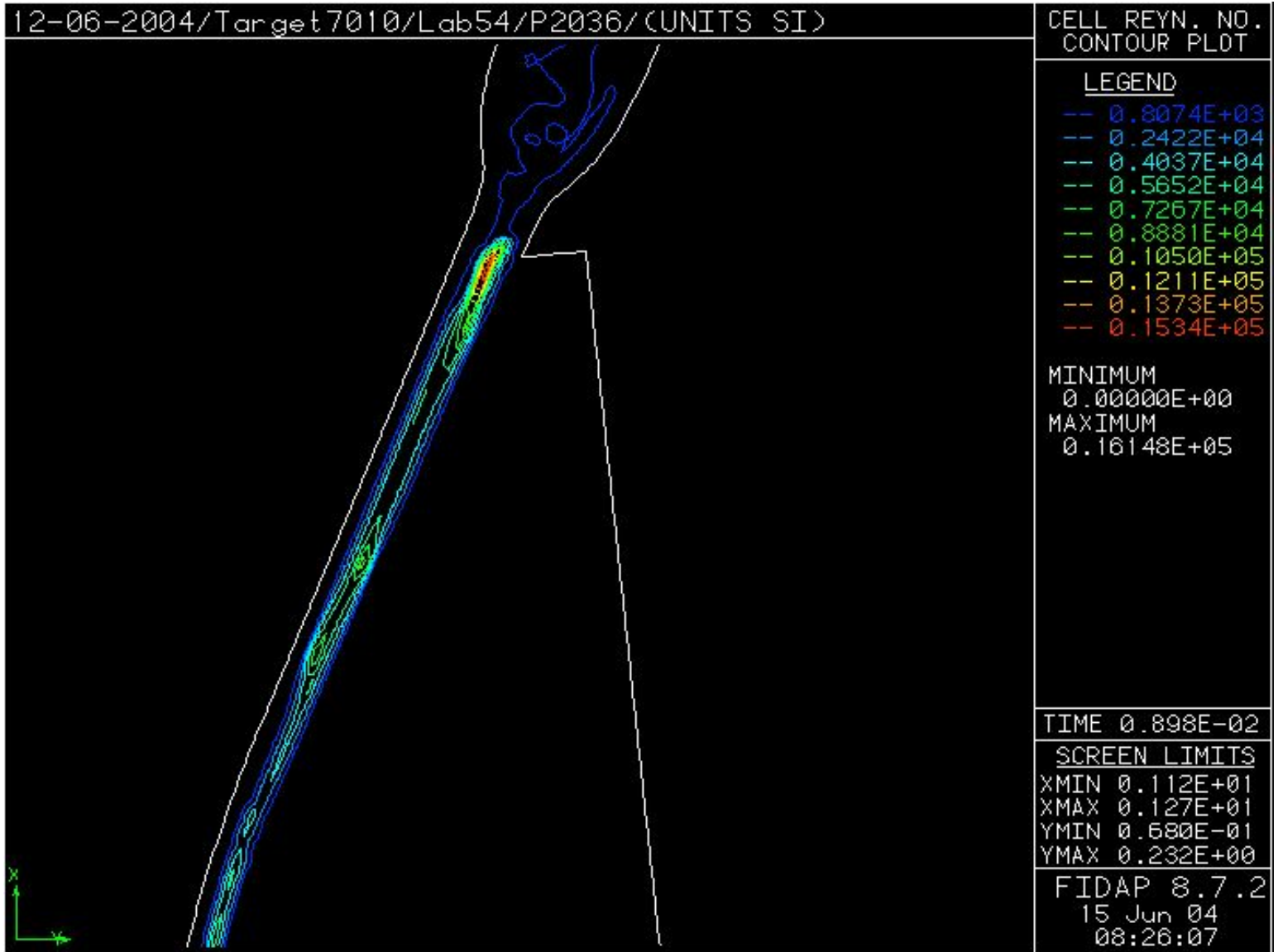


FLUENT
INCORPORATED





Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). Распределение числа Рейнольдса



FIDAP



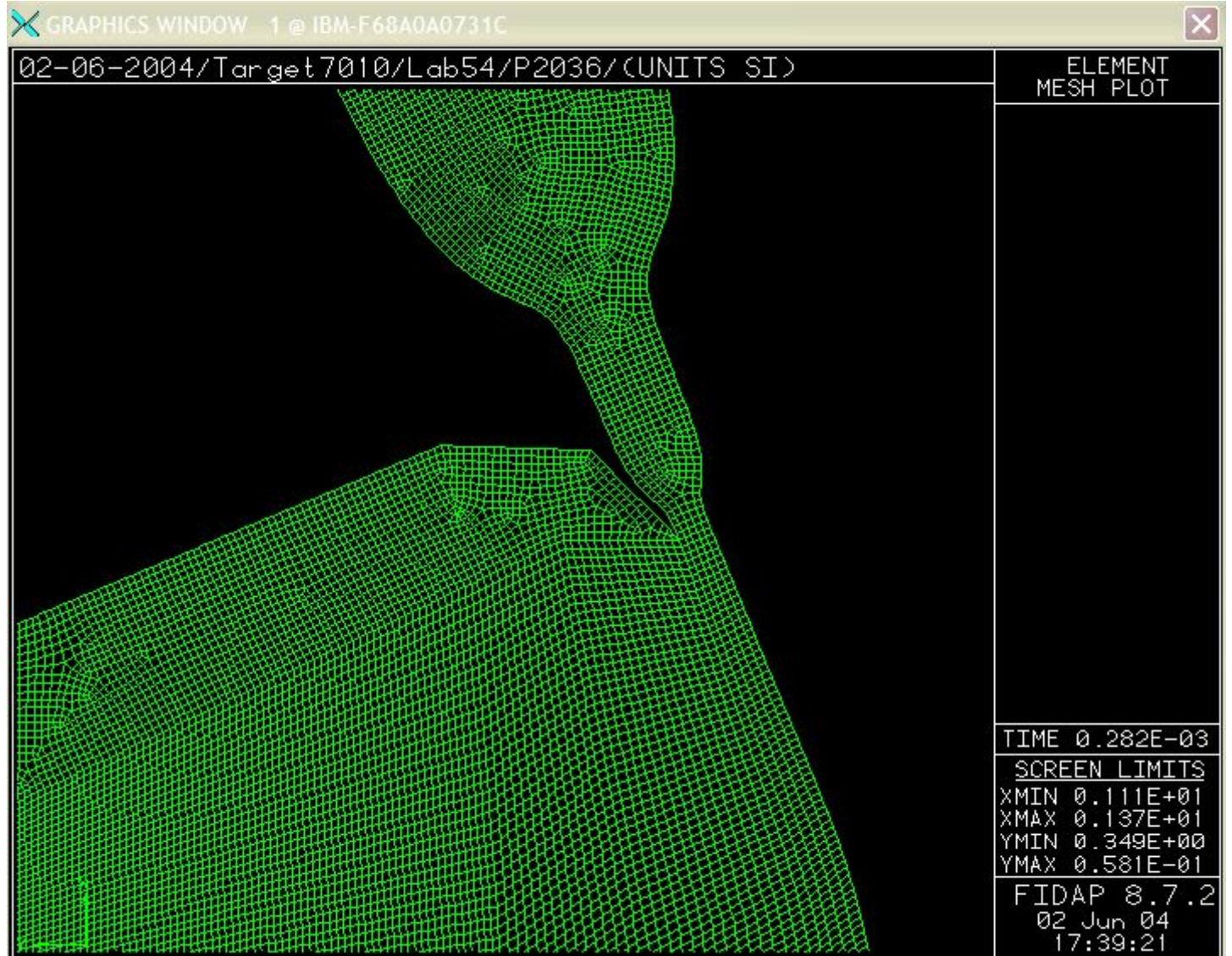


РАСЧЕТНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДЛЯ
варианта кромки сопла 22°
(**HE** проектное значение).





Вариант кромки сопла 22° (HE проектное значение). 2D расчетная сетка в области первой –второй ступеней, кромки и прямолинейного 90 мм участка. УВЕЛИЧЕНИЕ

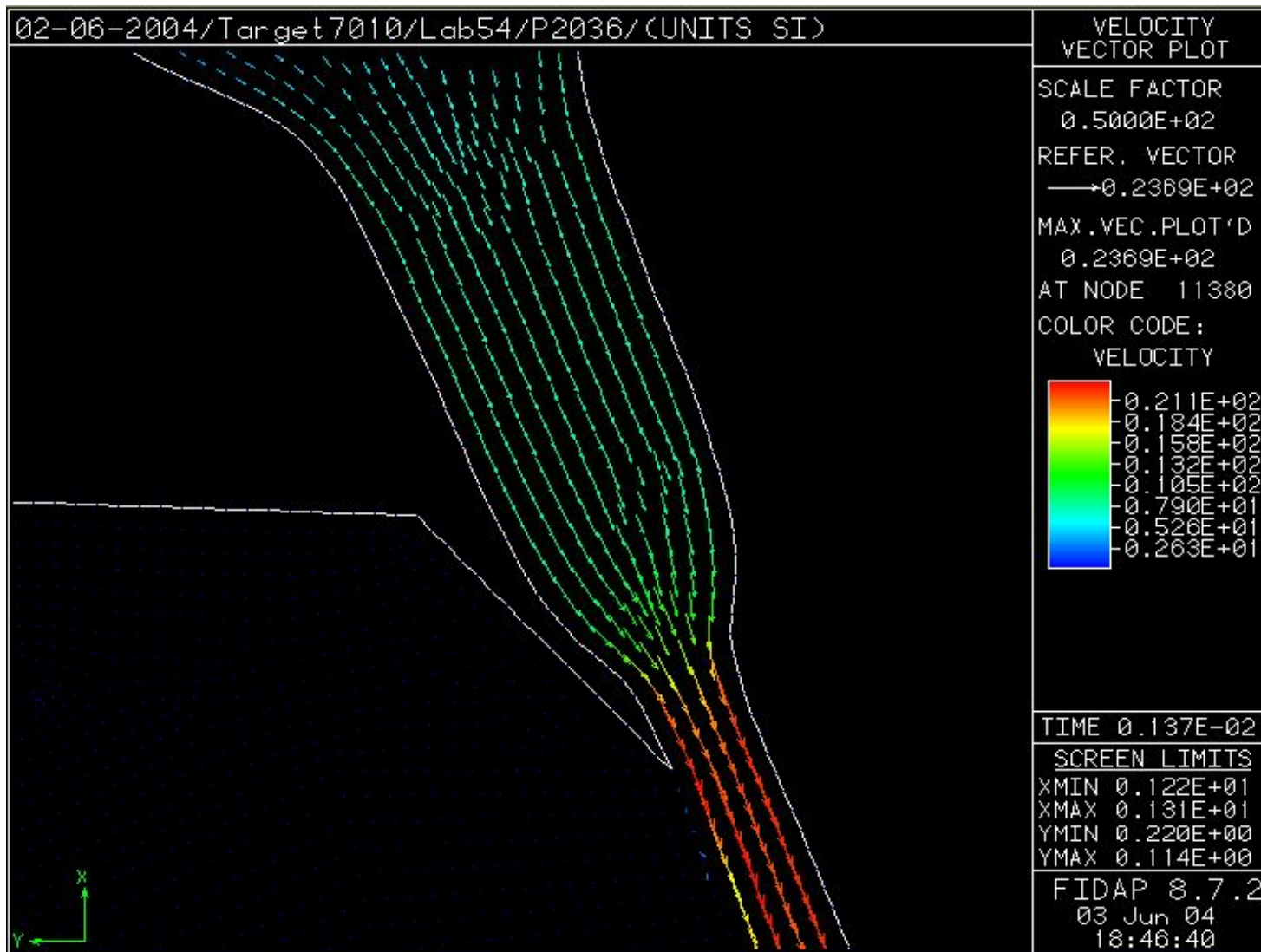


FIDAP





Вариант кромки сопла 22° (HE проектное значение). 2D векторное поле скорости в области первой – второй ступеней, кромки и прямолинейного 90 мм участка. УВЕЛИЧЕНИЕ

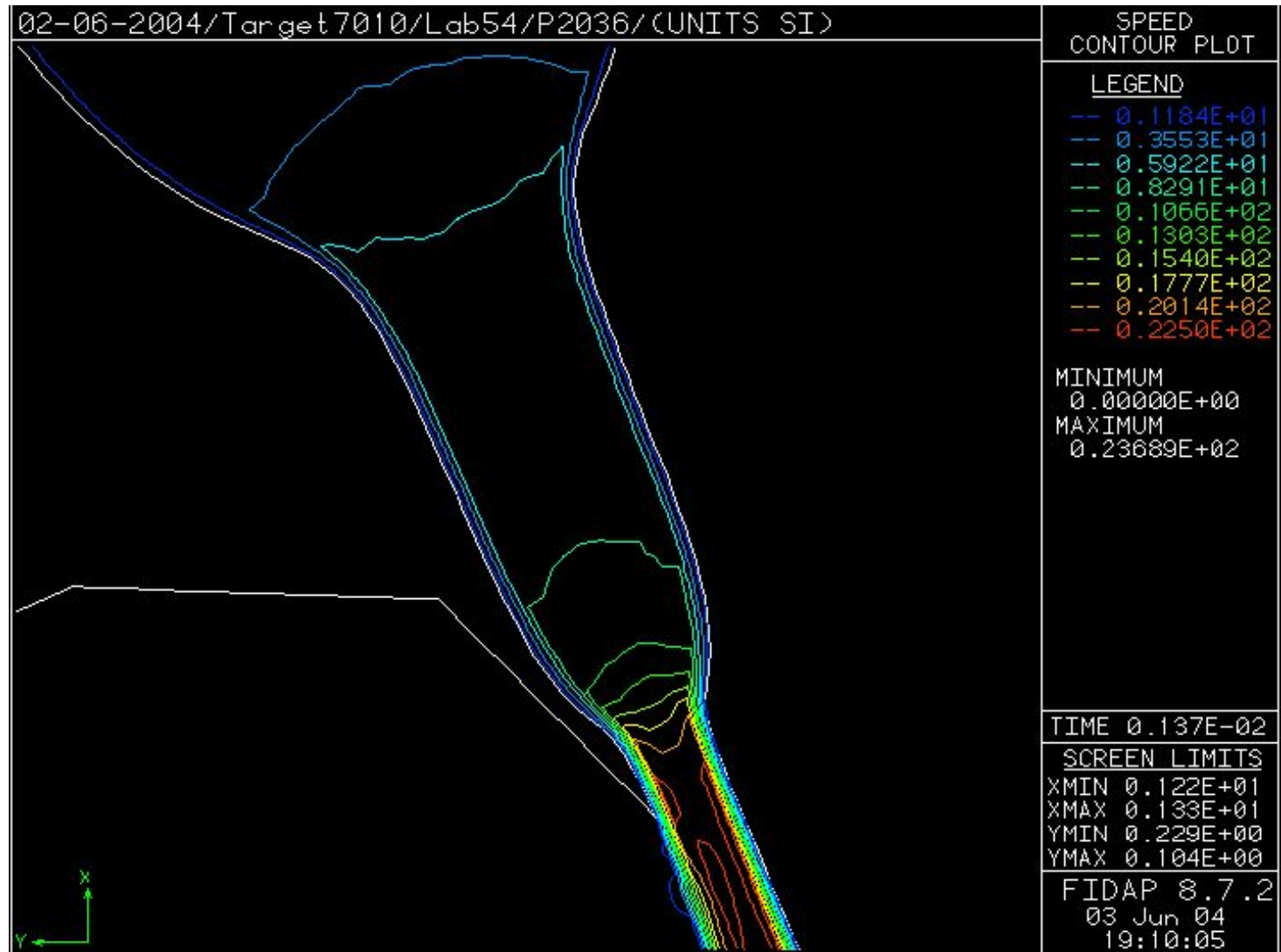


FIDAP





Вариант кромки сопла 22° (HE проектное значение). 2D поле скорости в области первой –второй ступеней, кромки и прямолинейного 90 мм участка. УВЕЛИЧЕНИЕ

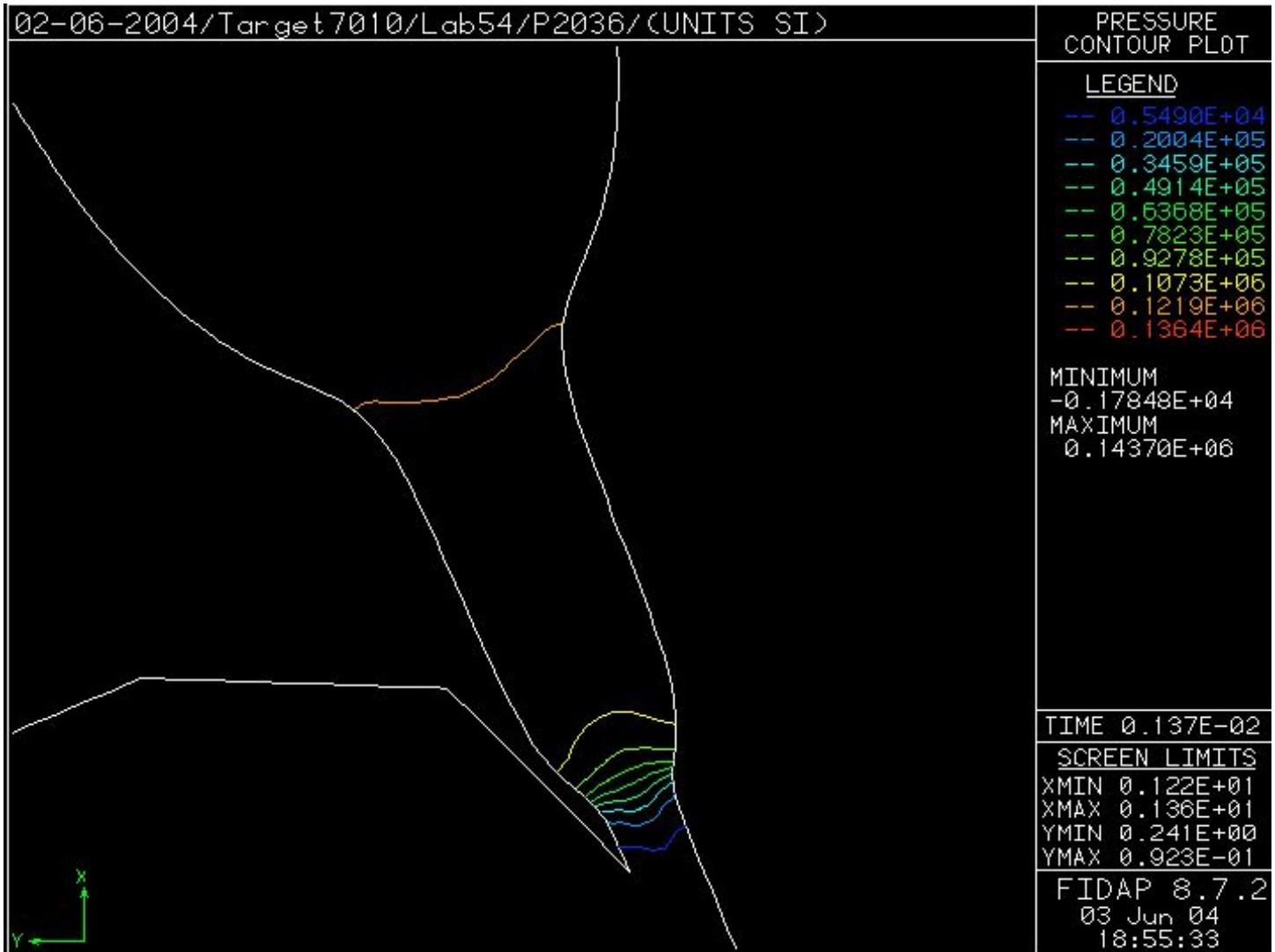


FIDAP





Вариант кромки сопла 22° (HE проектное значение). 2D поле давления в области первой –второй ступеней, кромки и прямолинейного 90 мм участка. УВЕЛИЧЕНИЕ

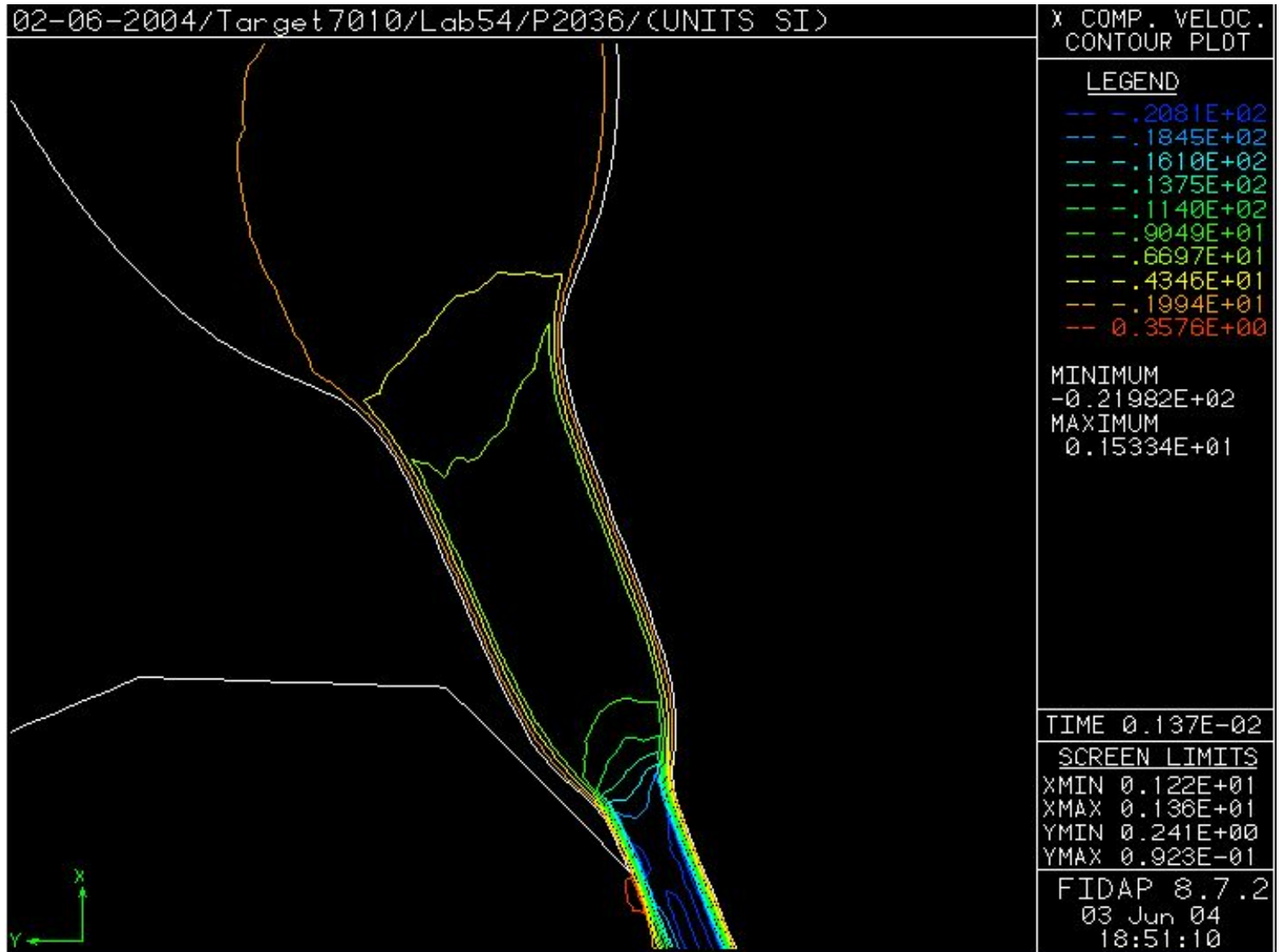


FIDAP





Вариант кромки сопла 22° (HE проектное значение). 2D поле вертикальной составляющей скорости в области первой –второй ступеней, кромки и прямолинейного 90 мм участка. УВЕЛИЧЕНИЕ

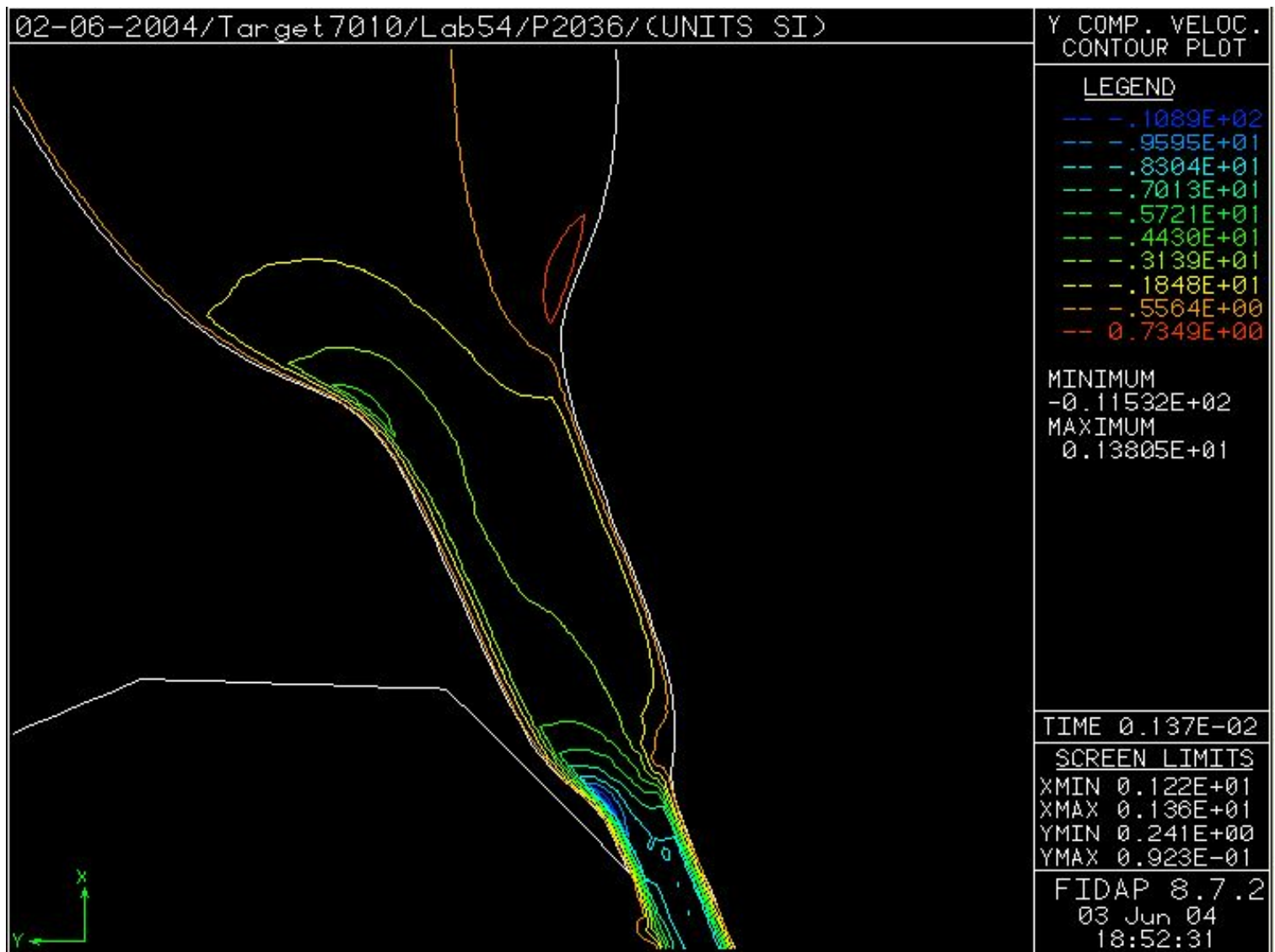


FIDAP





Вариант кромки сопла 22° (HE проектное значение). 2D поле горизонтальной составляющей скорости в области первой –второй ступеней, кромки и прямолинейного 90 мм участка. УВЕЛИЧЕНИЕ

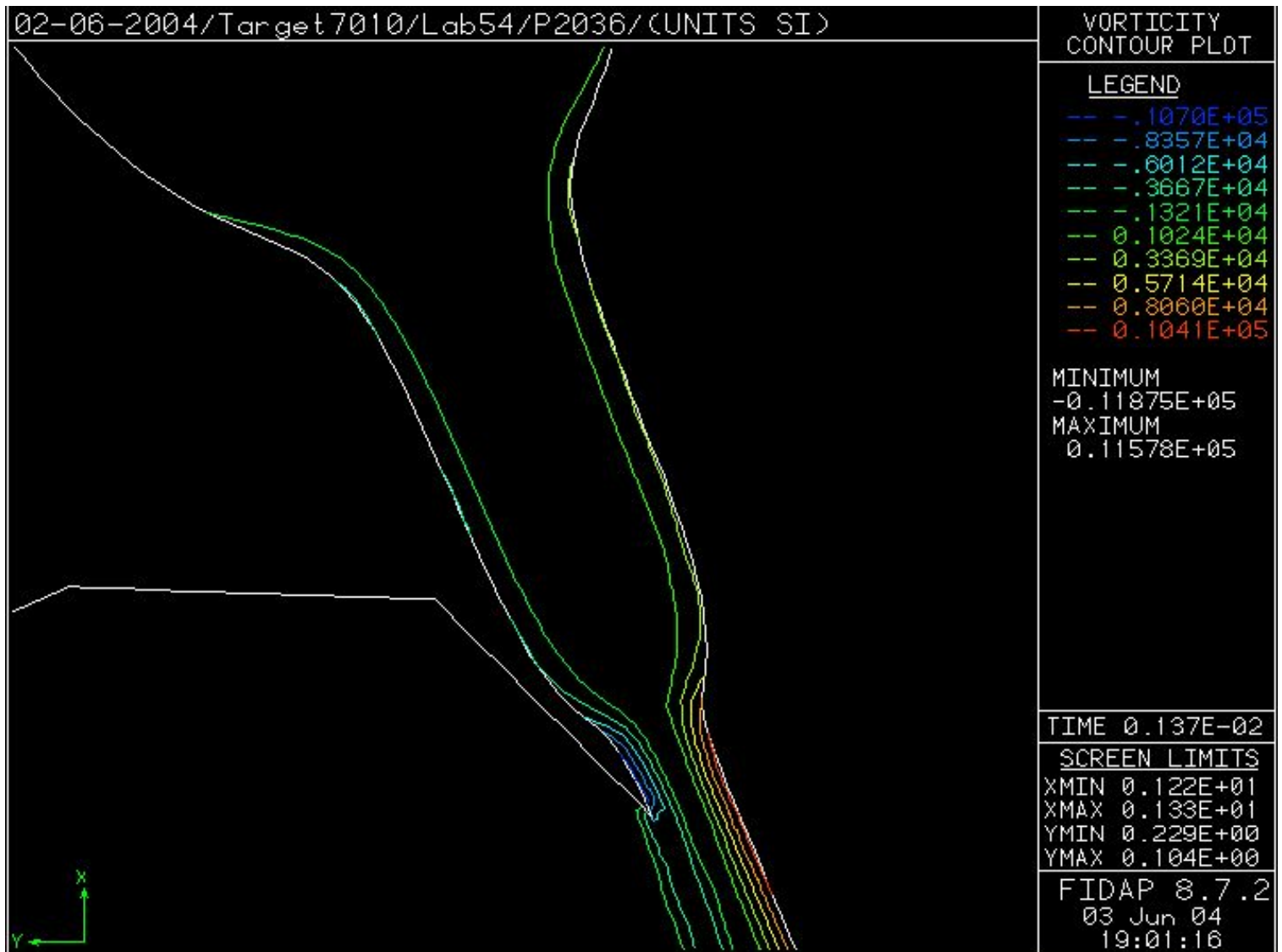


FIDAP





Вариант кромки сопла 22° (HE проектное значение). 2D поле завихренности в области кромки и прямолинейного 90 мм участка. УВЕЛИЧЕНИЕ

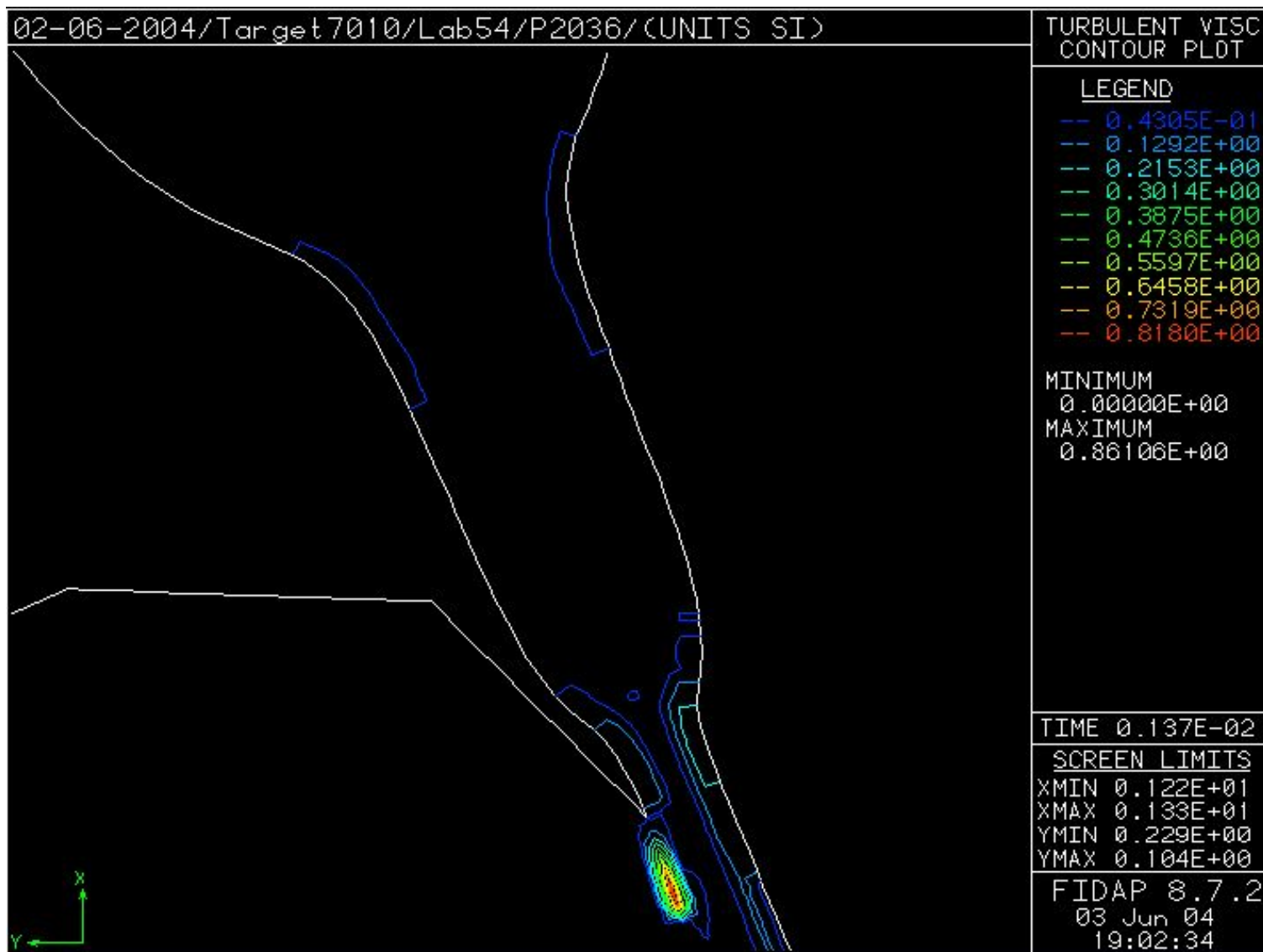


FIDAP





Вариант кромки сопла 22° (НЕ проектное значение). 2D поле турбулентной вязкости в области кромки и прямолинейного 90 мм участка. УВЕЛИЧЕНИЕ

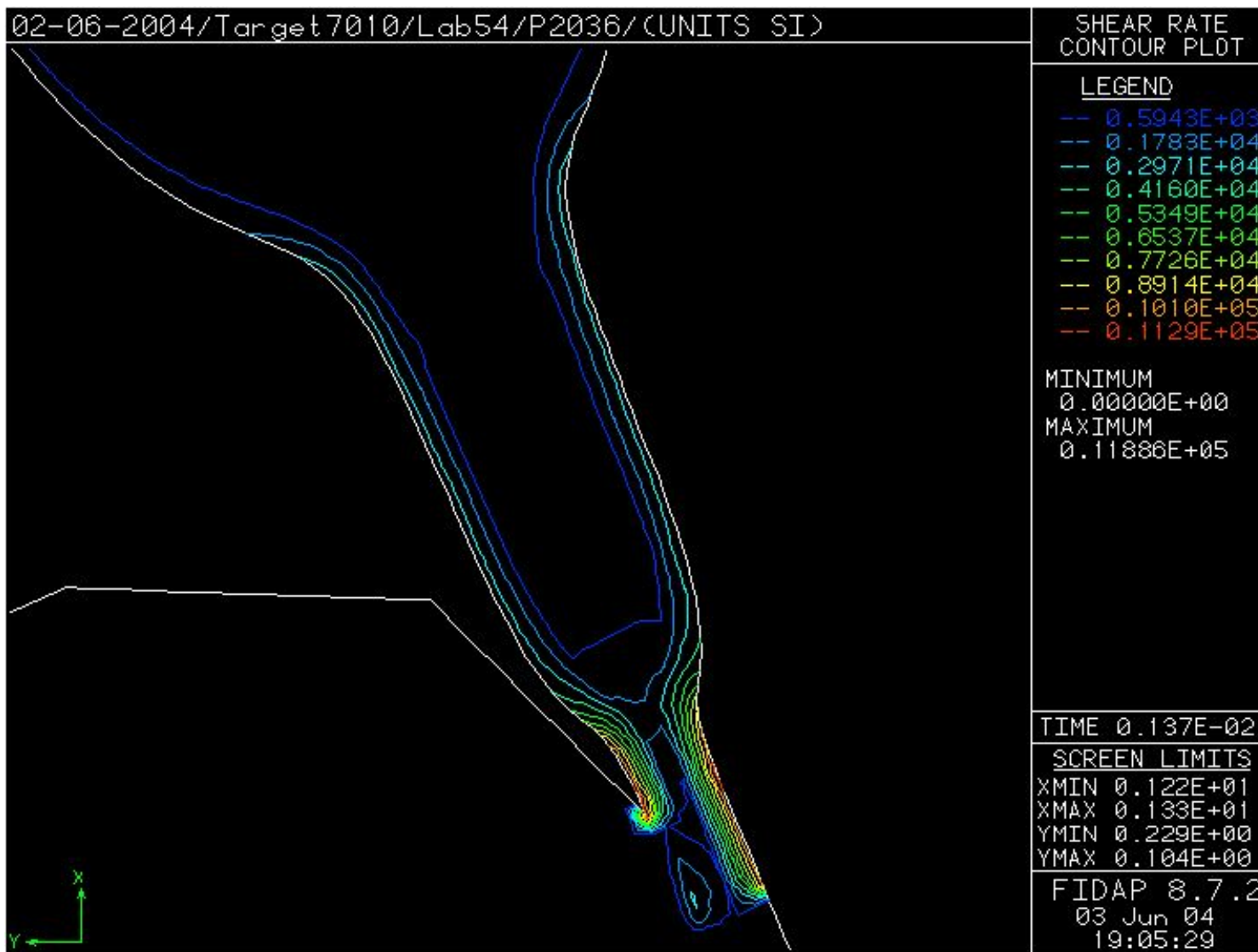


FIDAP





Вариант кромки сопла 22° (HE проектное значение). 2D поле в области кромки и прямолинейного 90 мм участка. УВЕЛИЧЕНИЕ

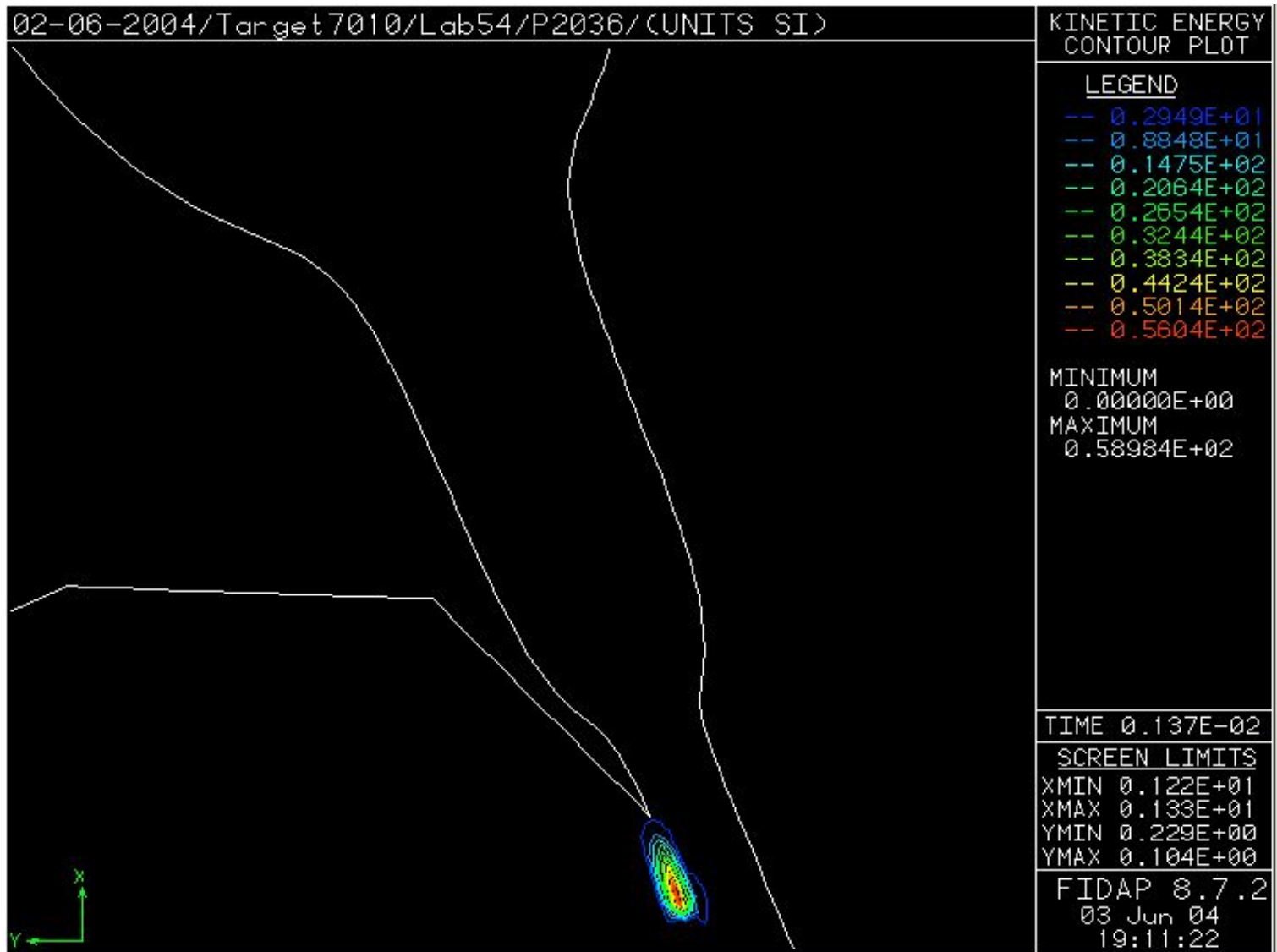


FIDAP





Вариант кромки сопла 22° (HE проектное значение). 2D поле турбулентной кинетической энергии в области кромки и прямолинейного 90 мм участка. УВЕЛИЧЕНИЕ

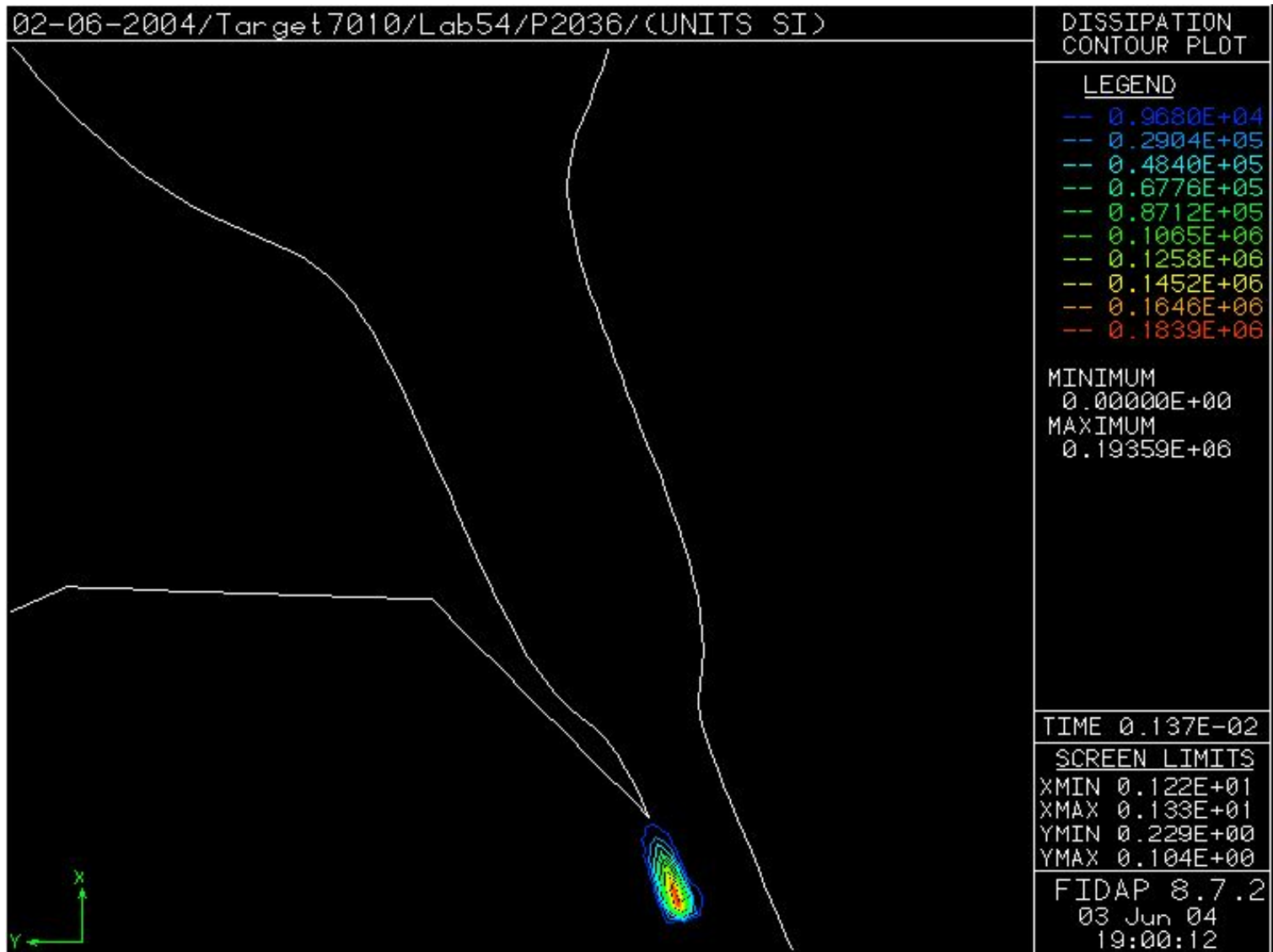


FIDAP





Вариант кромки сопла 22° (HE проектное значение). 2D поле диссипации турбулентной энергии в области кромки и прямолинейного 90 мм участка. УВЕЛИЧЕНИЕ



FIDAP

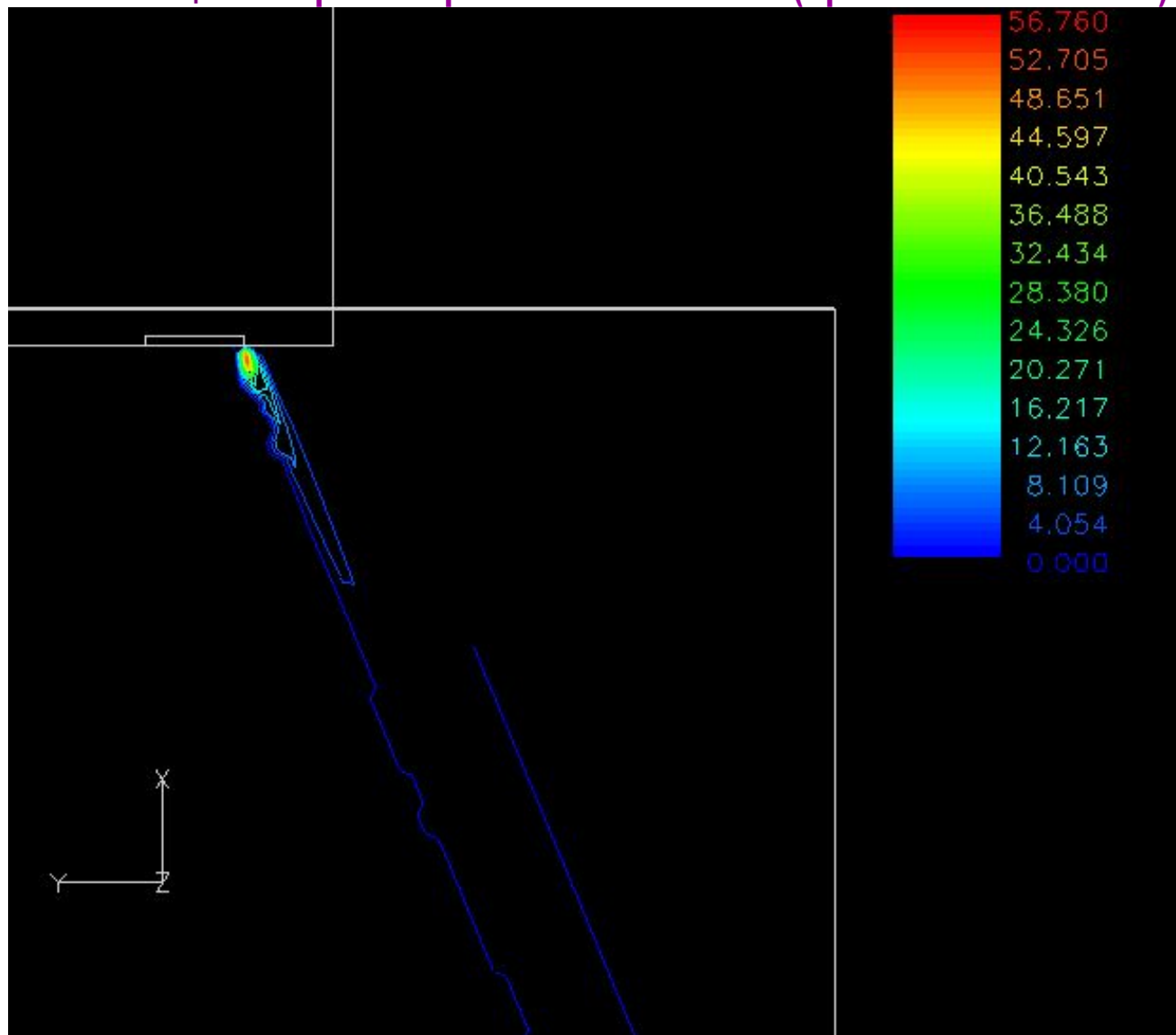


FLUENT
INCORPORATED



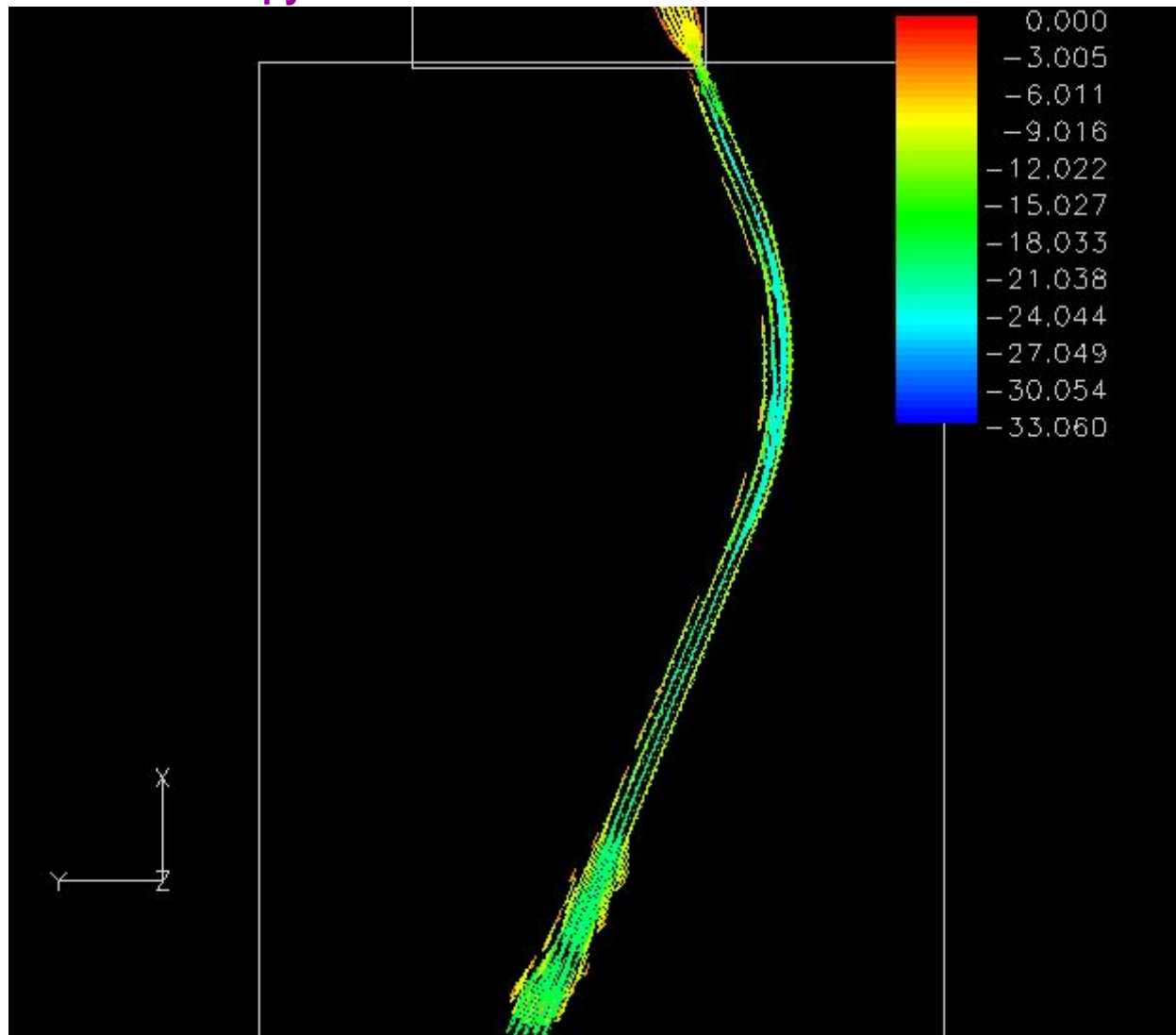


мультипликация . Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение).



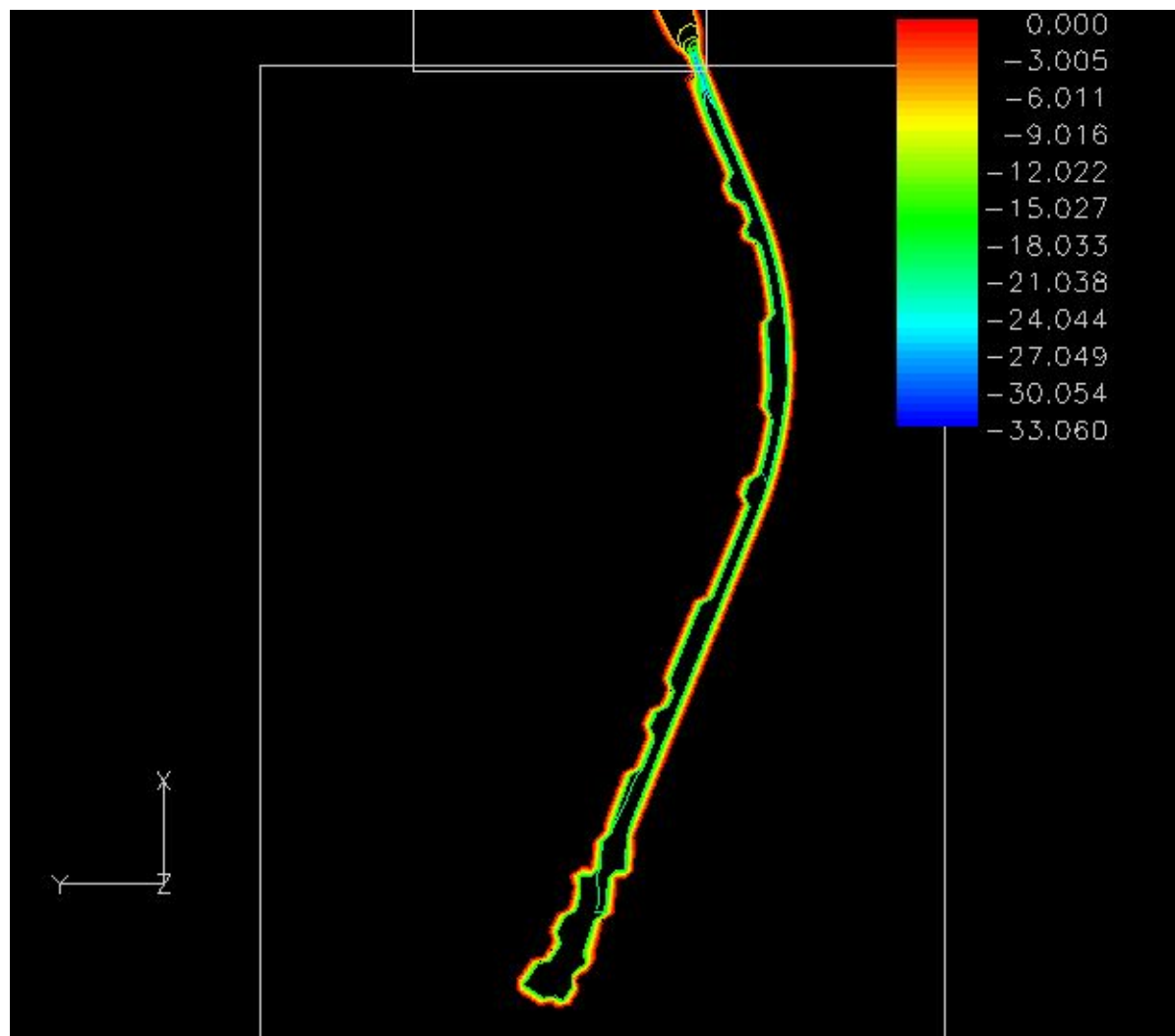


мультипликация . Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение).
Грубая сетка.



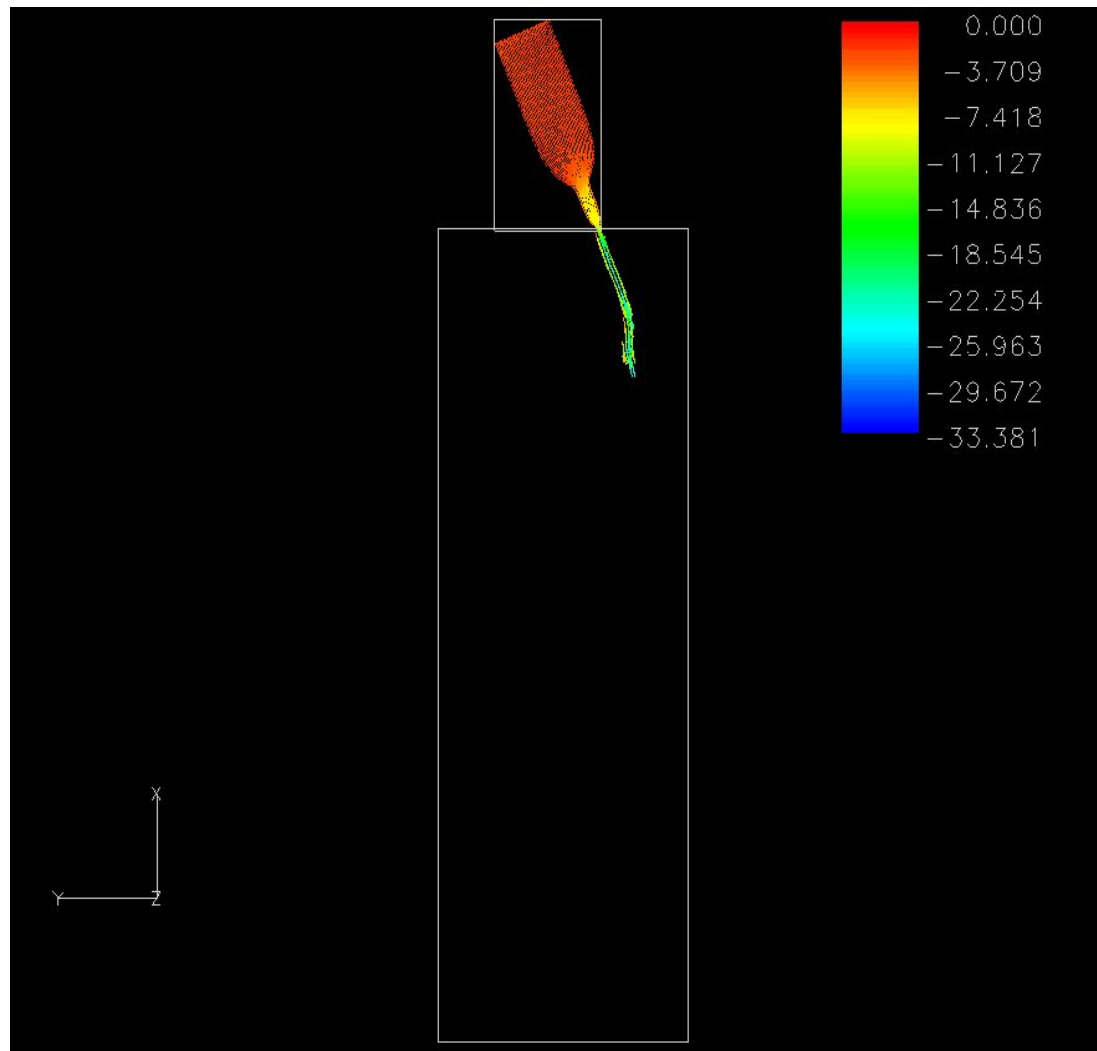


мультипликация . Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение).
Грубая сетка.



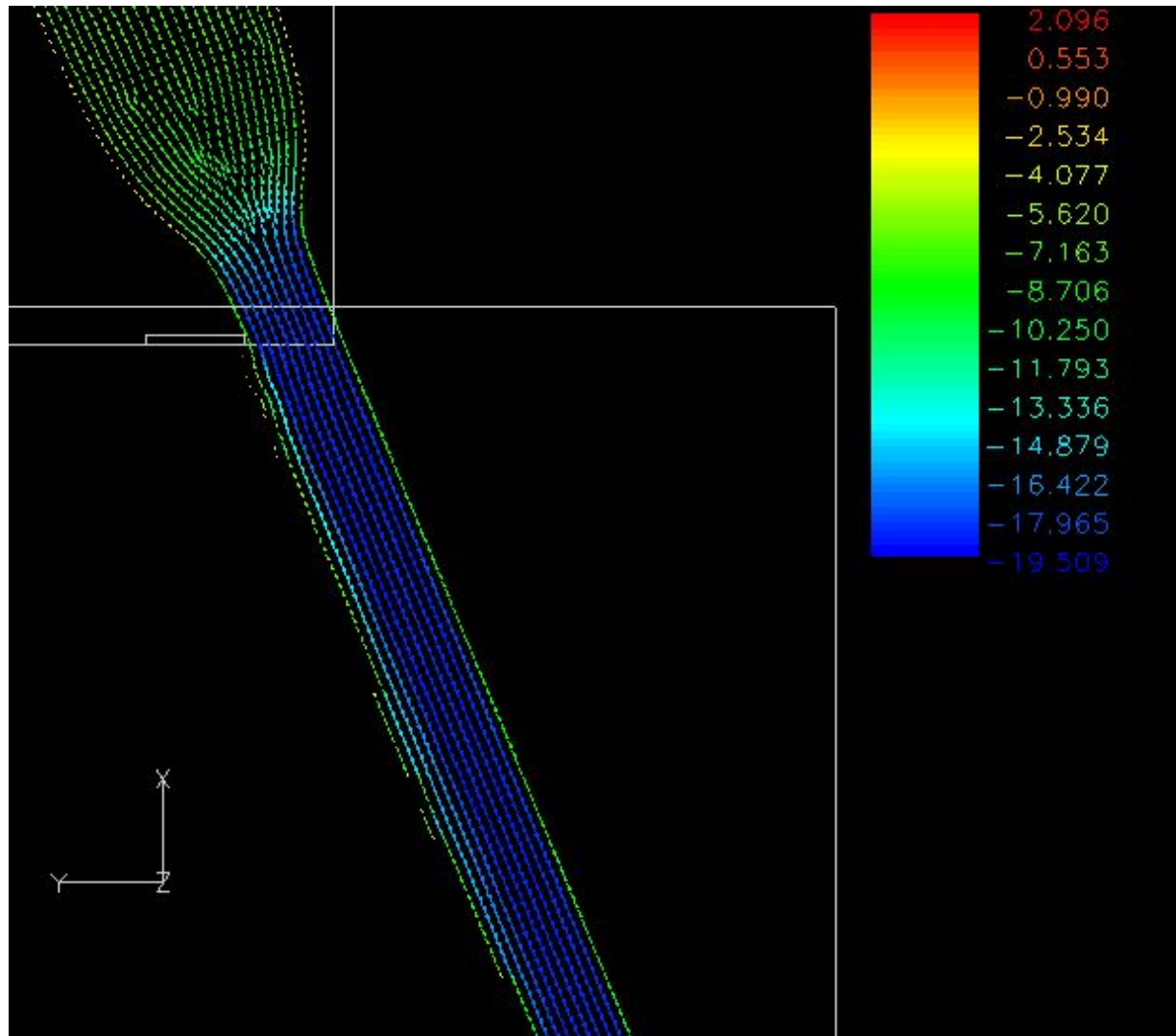


мультипликация . Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение).
Грубая сетка.





мультипликация . Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение).
Урезанная (подробная) сетка сетка.



1. Выявлена причина образования аэрозолей, которые будут присутствовать в рабочей области пучка всегда и , возможно, будут оседать на стенках конструкций и уноситься в тракт укорителя.
 - 1.1. Возможно лишь снизить интенсивность их возникновения (если это позволяет технология и требования к эрозионному износу кромок).
 - 1.2. В области краевого угла второй ступени образуется зона максимальной турбулентности, которая образует турбулентный след линейным размером порядка 10 мм, в котором происходит зарождений аэрозолей.
 - 1.3. Прослеживается закономерность размера краевого угла максимума турбулентной кинетической энергии его расположения относительно угла интенсивности возникновения аэрозолей:
 - 1.3.1. С уменьшением краевого угла со значения $62^{\circ}30'$ до 22° максимальное значение кинетической турбулентной энергии (к) увеличивается со значения $54.17 \text{ м}^2/\text{с}^3$ до $56.04 \text{ м}^2/\text{с}^3$.

Это сопровождается смещением максимума турбулентности от краевого угла (приблизительно с 2 мм до 8 мм) вниз по потоку и снижением интенсивности возникновения аэрозолей!

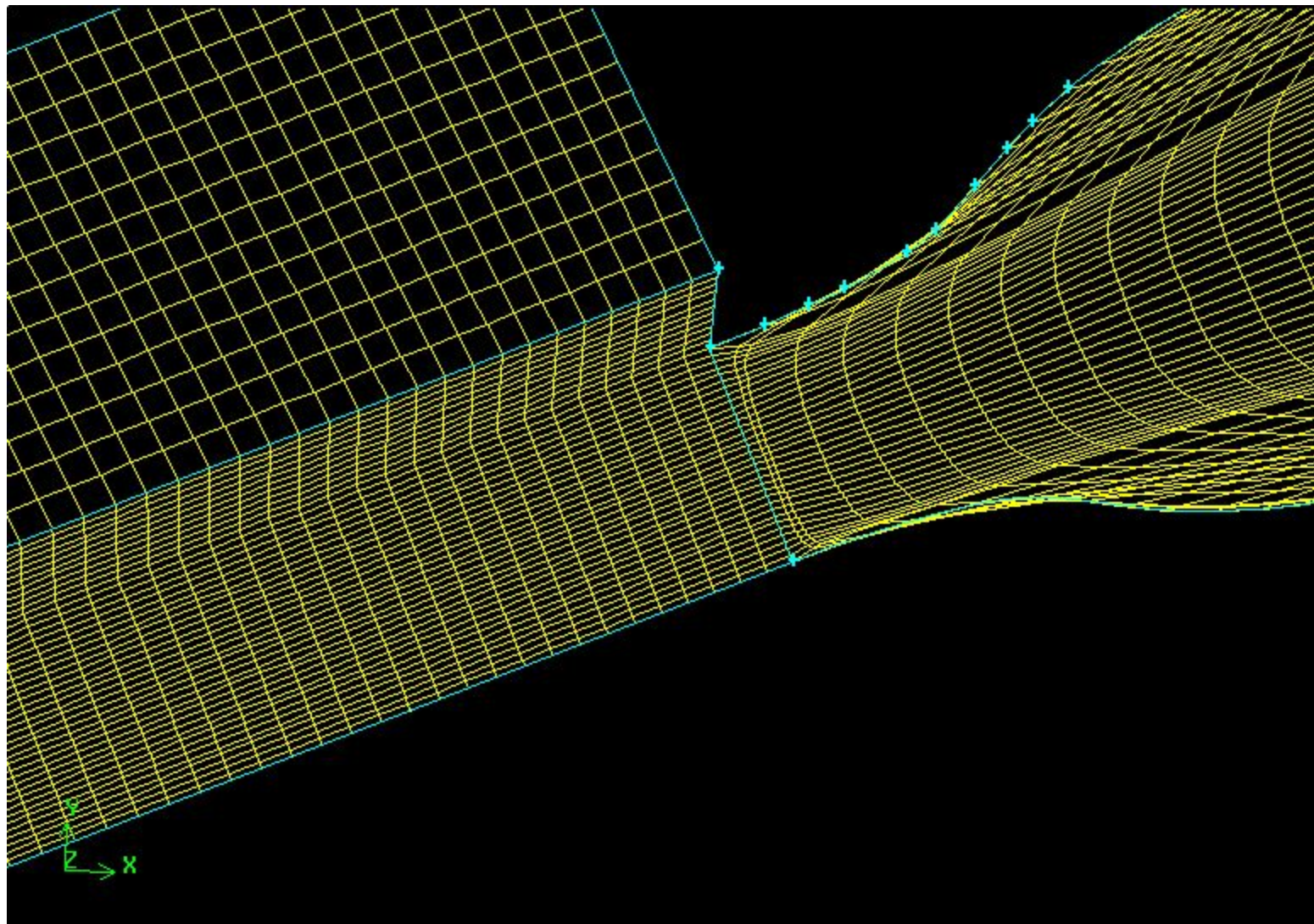
Однако полного устранения аэрозолей, по всей видимости, достичь невозможно из-за технологических требований к надежности конструкции сопла.
2. Получена исчерпывающая информация гидродинамики сопла SHIMA для штатного расположения $67^{\circ}30'$ к горизонту в виде двумерных распределений полей (и компонентов) скорости, давления и турбулентности, как для внутренней части (1 и 2 ступень), так для выхода струи в вакуум на прямолинейный 90 мм участок.

И ЧТО ДАЛЬШЕ ?

(смотри далее.....)

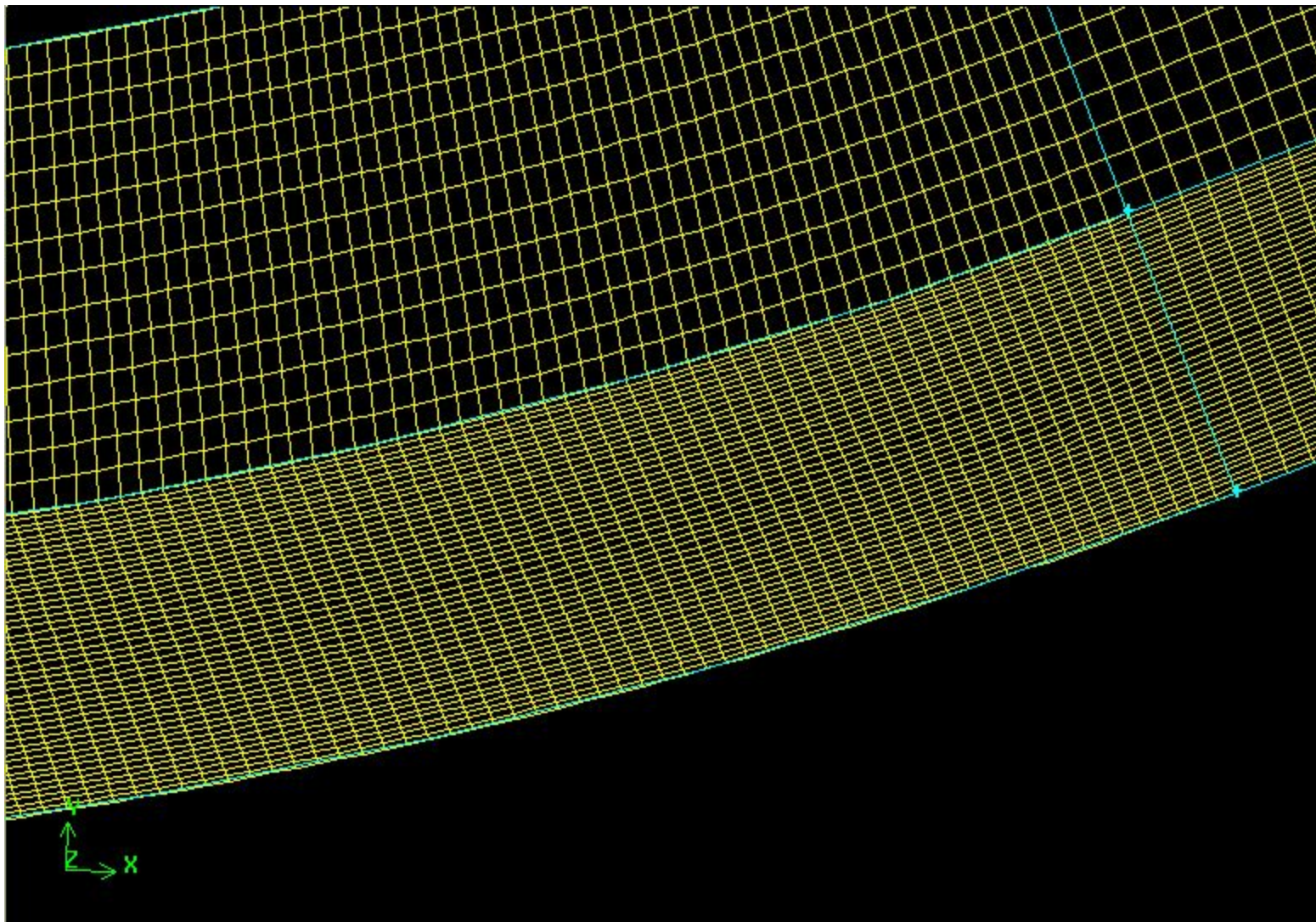


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). **Пробный вариант сетки** .
40 ячеек по глубине струи. Размер ячейки по высоте 0.25 мм. На область аэрозолей отведено
дополнительно 14 ячеек с таким же размером по высоте.



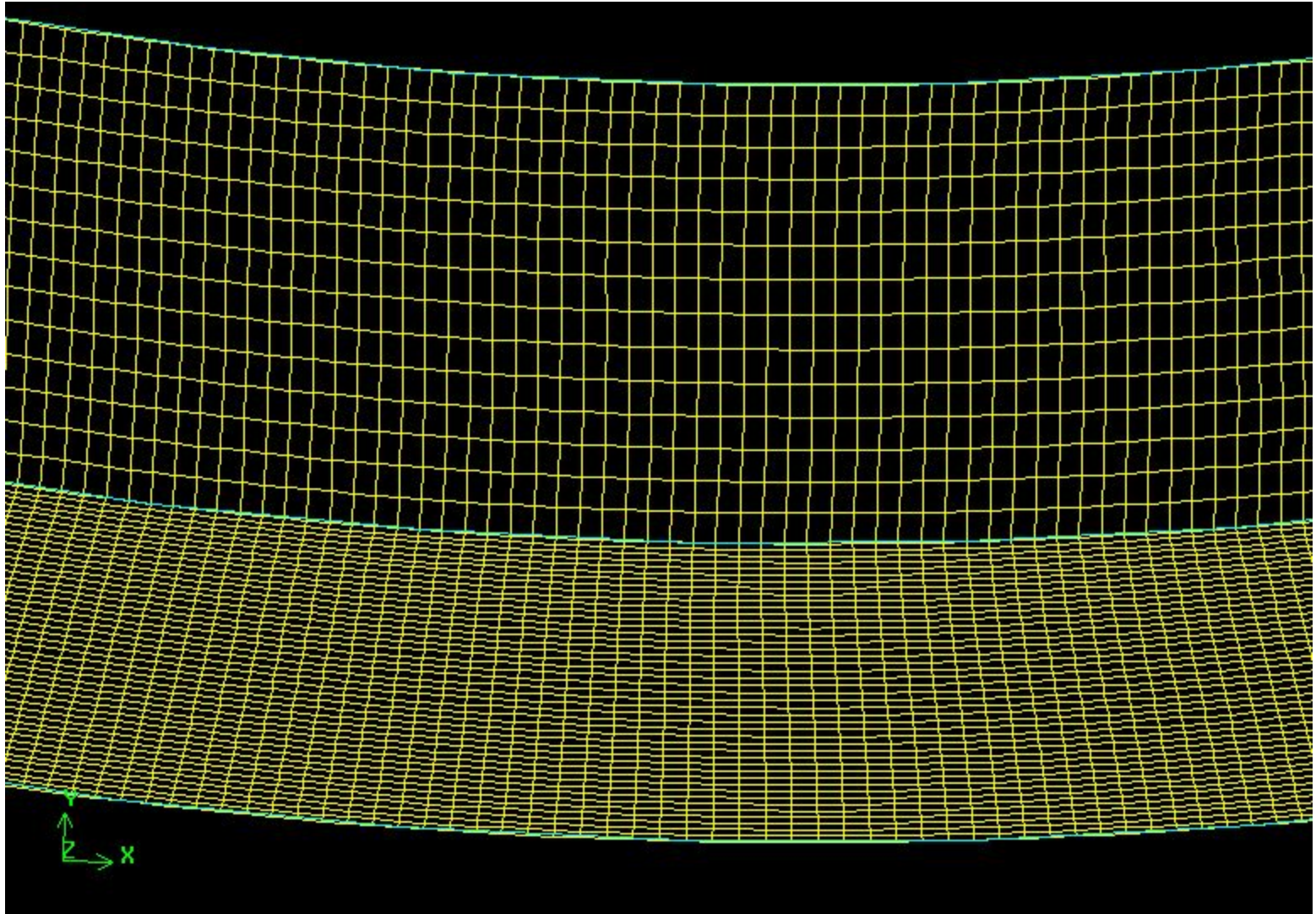


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). **Пробный вариант сетки**.
40 ячеек по глубине струи. Размер ячейки по высоте 0.25 мм. На область аэрозолей отведено
дополнительно 14 ячеек с таким же размером по высоте. **ОБЛАСТЬ СОПРЯЖЕНИЯ**.



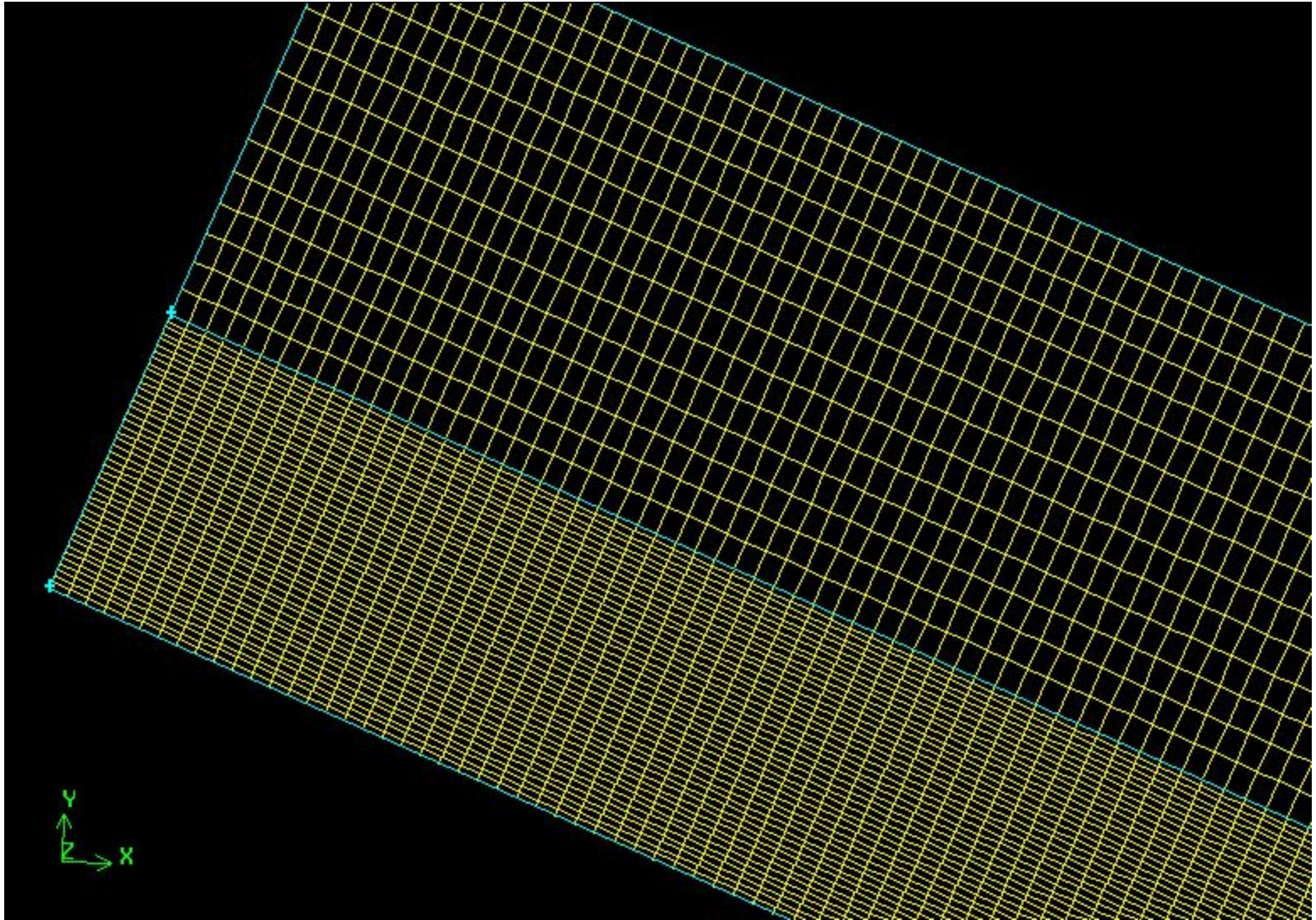


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). **Пробный вариант сетки** .
40 ячеек по глубине струи. Размер ячейки по высоте 0.25 мм. На область аэрозолей отведено
дополнительно 14 ячеек с таким же размером по высоте. **ОБЛАСТЬ ПУЧКА. ПОВЕРНУТО.**



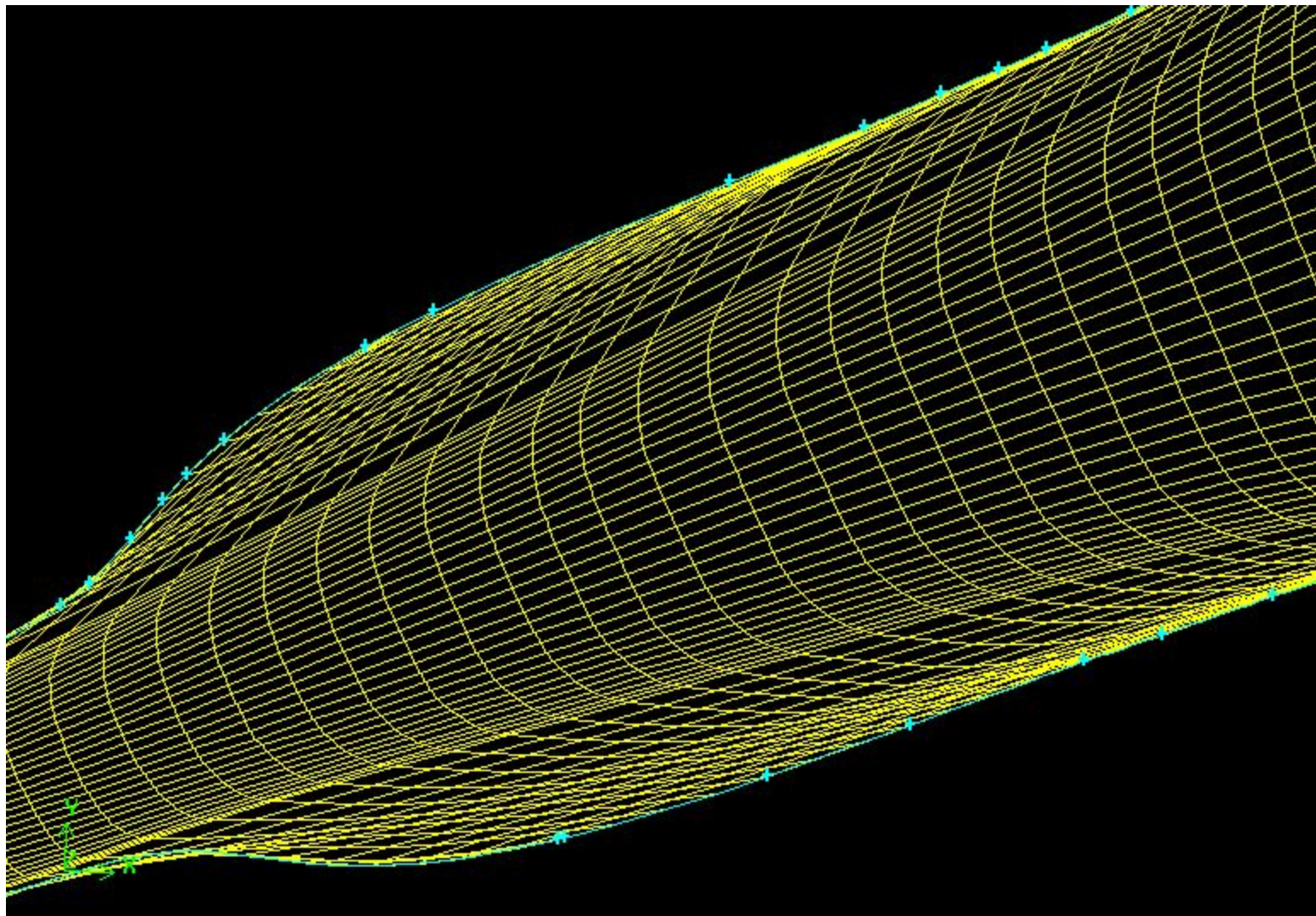


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). **Пробный вариант сетки** .
40 ячеек по глубине струи. Размер ячейки по высоте 0.25 мм. На область аэрозолей отведено
дополнительно 14 ячеек с таким же размером по высоте. **ОБЛАСТЬ СЛИВА. ПОВЕРНУТО.**





Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). Пробный вариант сетки .
ОБЛАСТЬ ВТОРОЙ СТУПЕНИ. ПОВЕРНУТО.



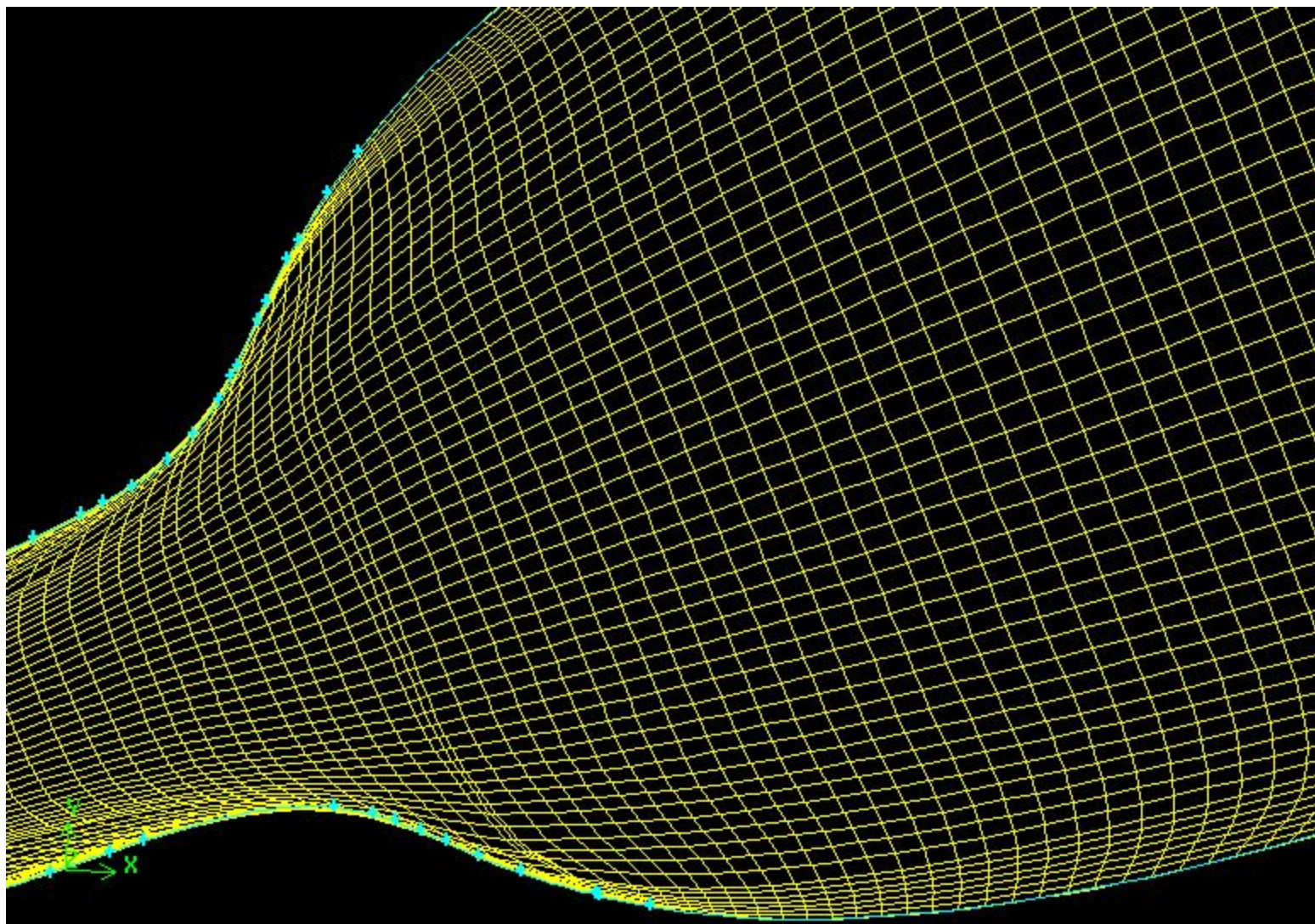
International Association for Hydraulic Engineering and Research (IAHR) / Section on Energy Exchange and Fluid Phenomena
Group Meeting July 5 - 10 , 2004, Obninsk, Russia

FiDAP





Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). Пробный вариант сетки .
ОБЛАСТЬ ПЕРВОЙ И ВТОРОЙ СТУПЕНЕЙ. ПОВЕРНУТО.



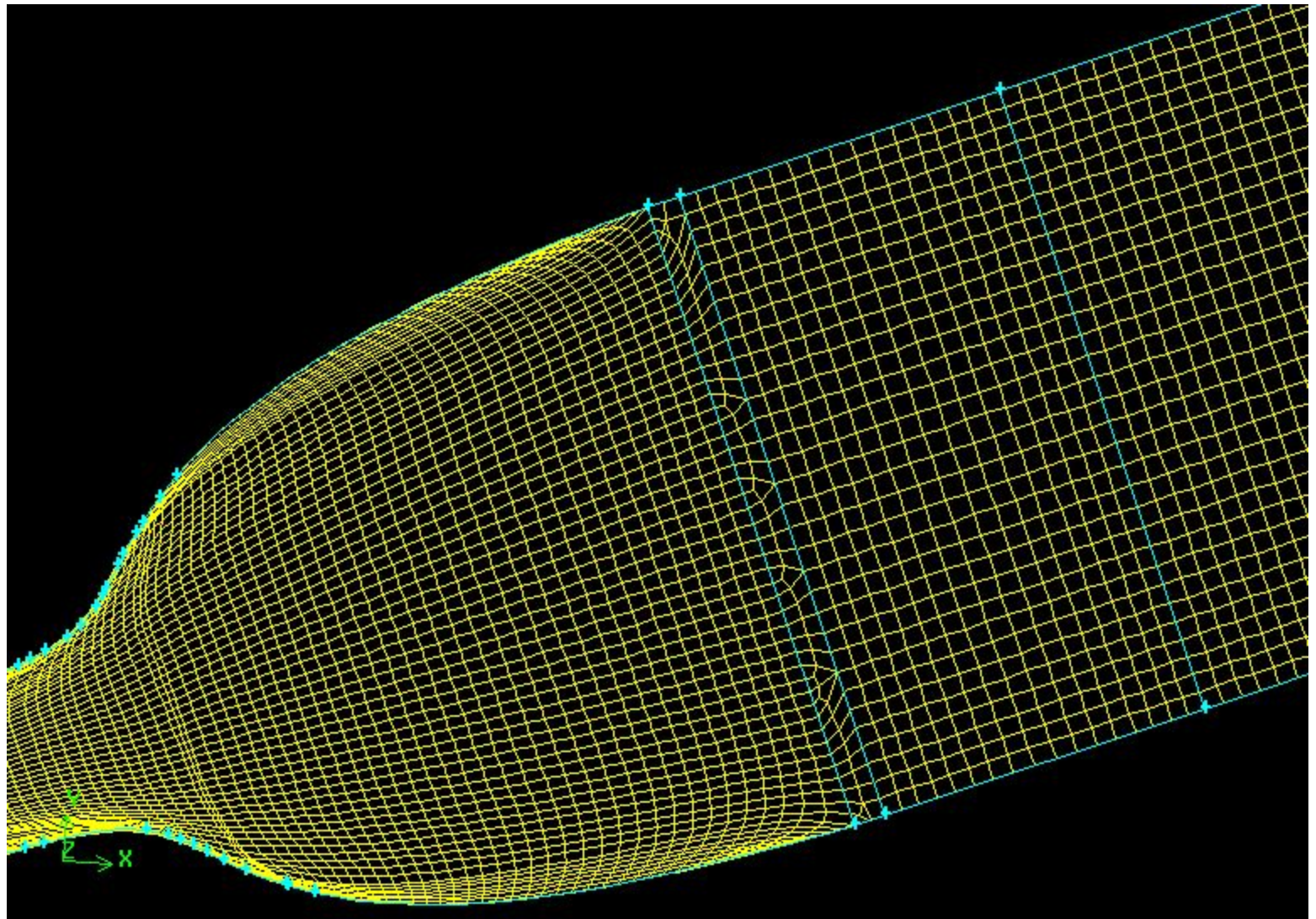
International Association for Hydraulic Engineering and Research (IAHR) / Section on Energy Exchange and Fluid Phenomena
Group Meeting July 5 - 10 , 2004, Obninsk, Russia

FiDAP





Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). Пробный вариант сетки .
ОБЛАСТЬ ПЕРВОЙ , ВТОРОЙ СТУПЕНЕЙ И ПОРИСТОЙ ОБЛАСТИ. ПОВЕРНУТО.

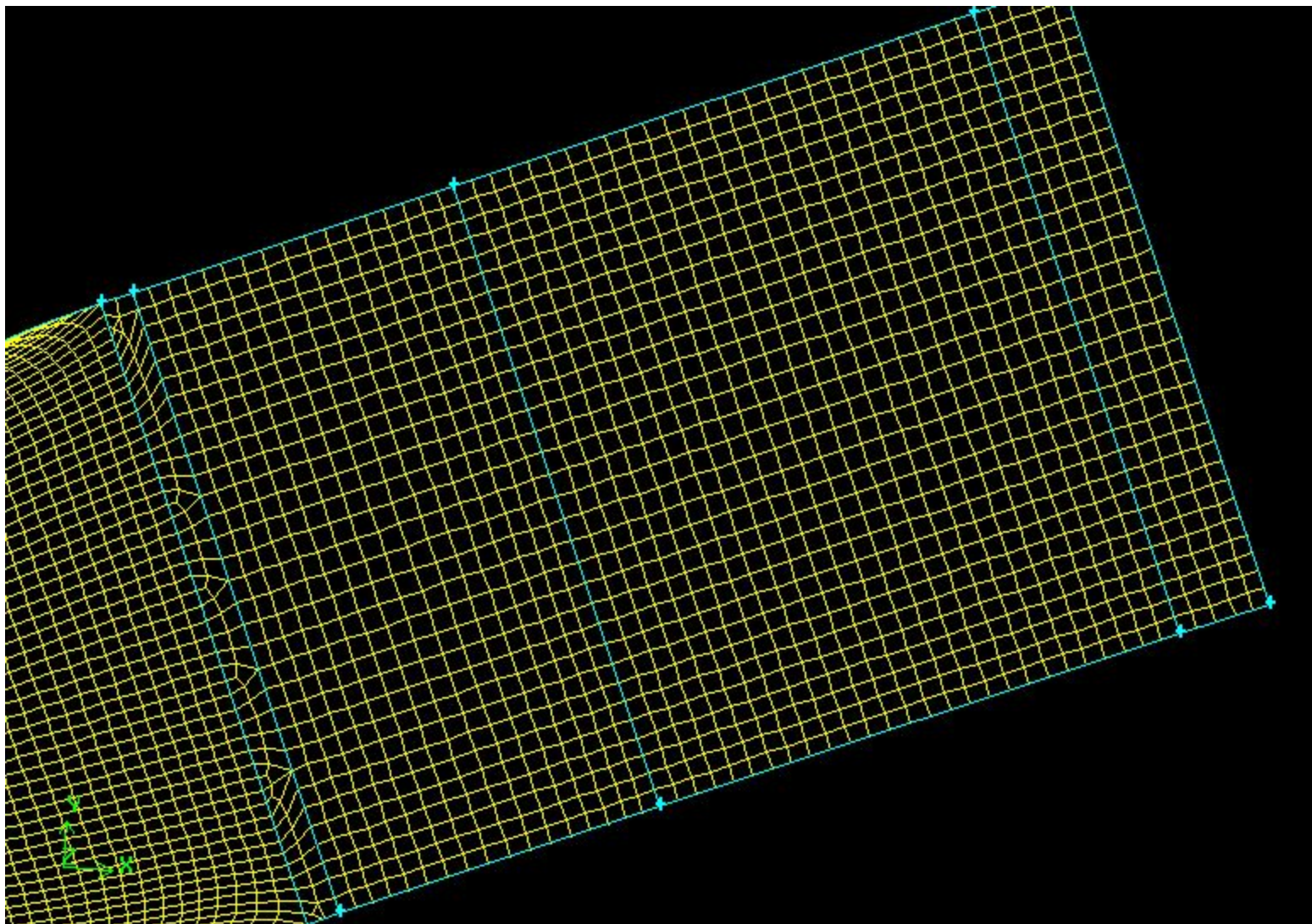


FiDAP



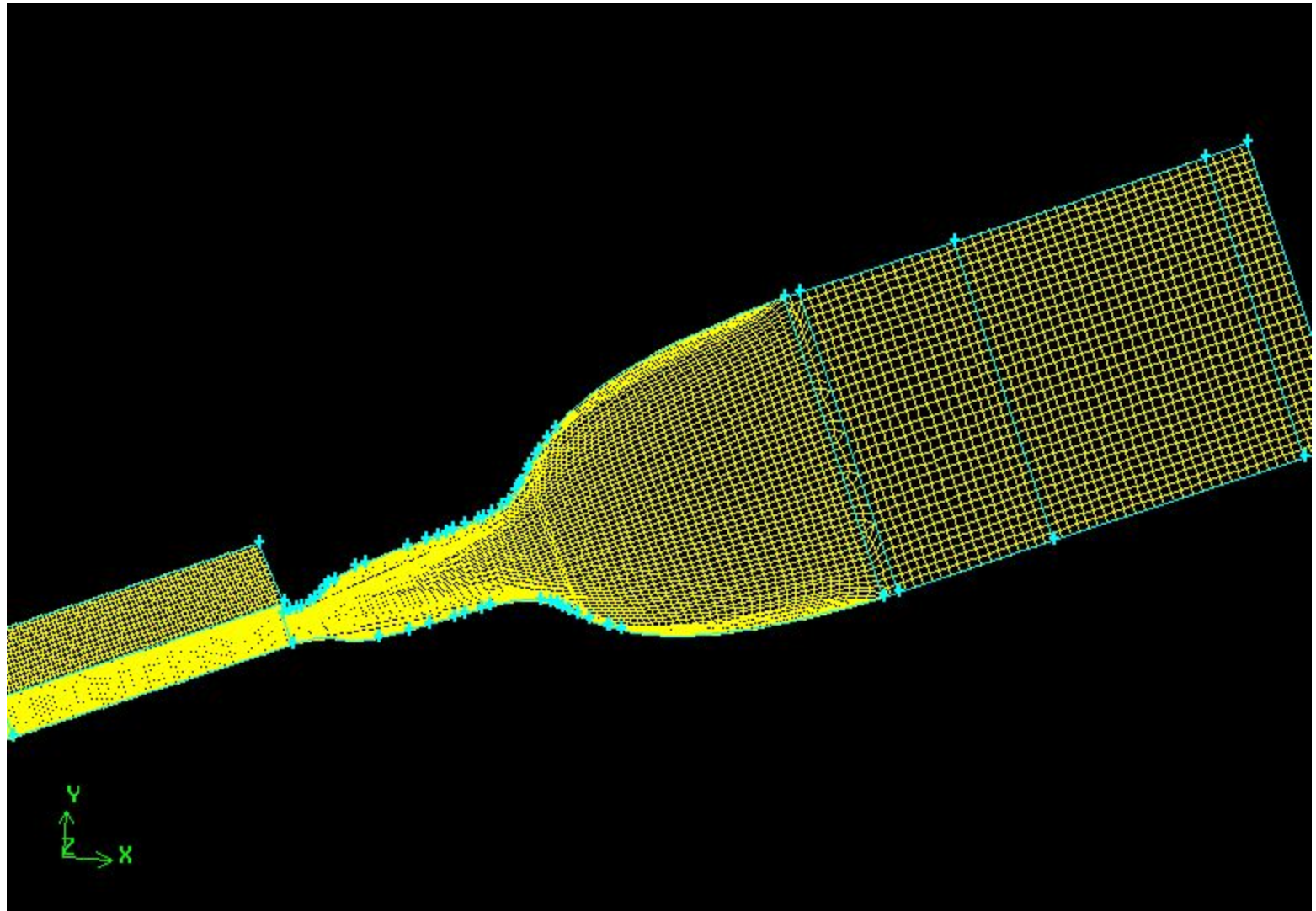


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). Пробный вариант сетки .
ОБЛАСТЬ ВТОРОЙ СТУПЕНИ И ПОРИСТОЙ ОБЛАСТИ. ПОВЕРНУТО.



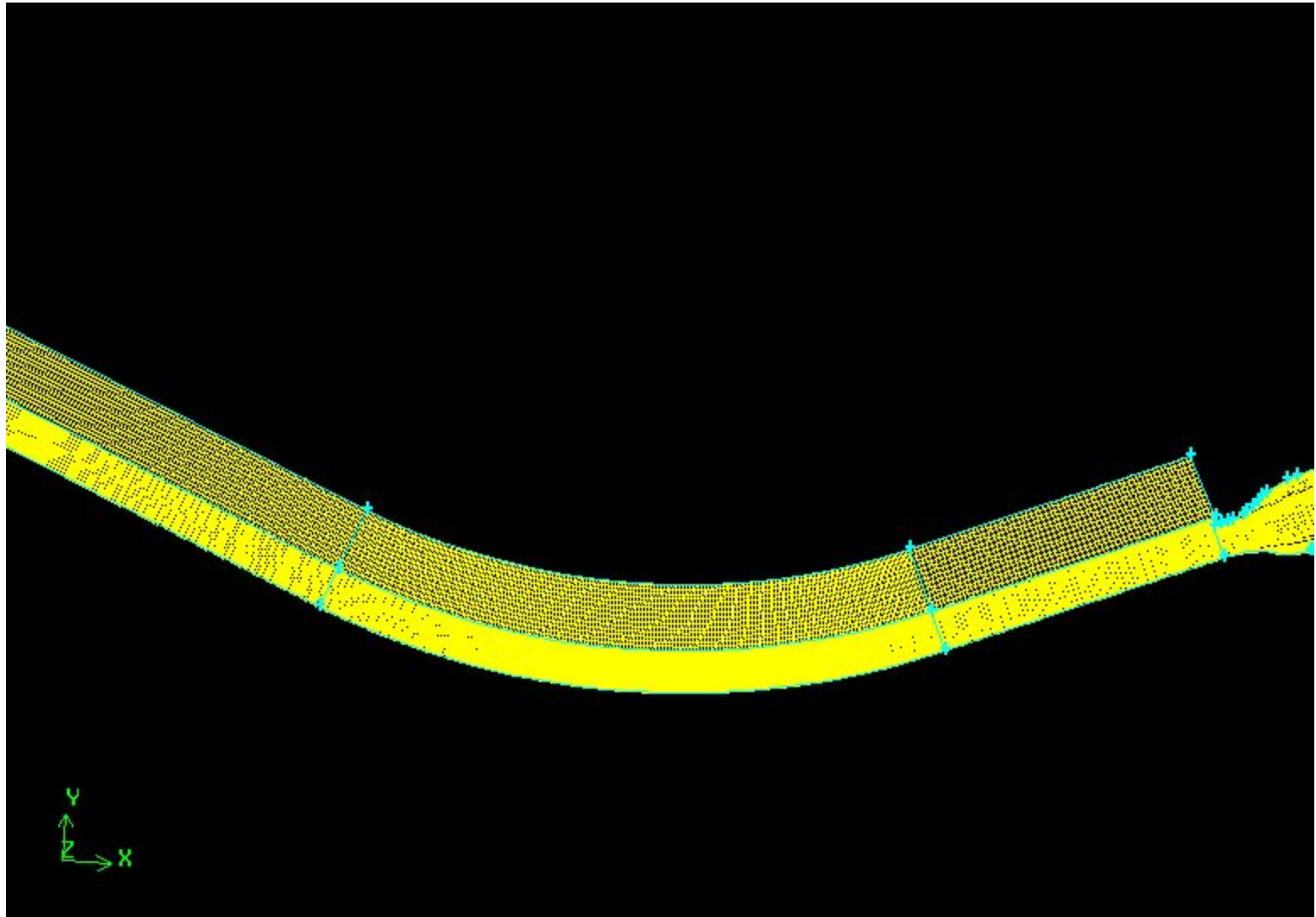


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). Пробный вариант сетки .
ОБЛАСТЬ ПЕРВОЙ , ВТОРОЙ СТУПЕНЕЙ И ПОРИСТОЙ ОБЛАСТИ. ПОВЕРНУТО.



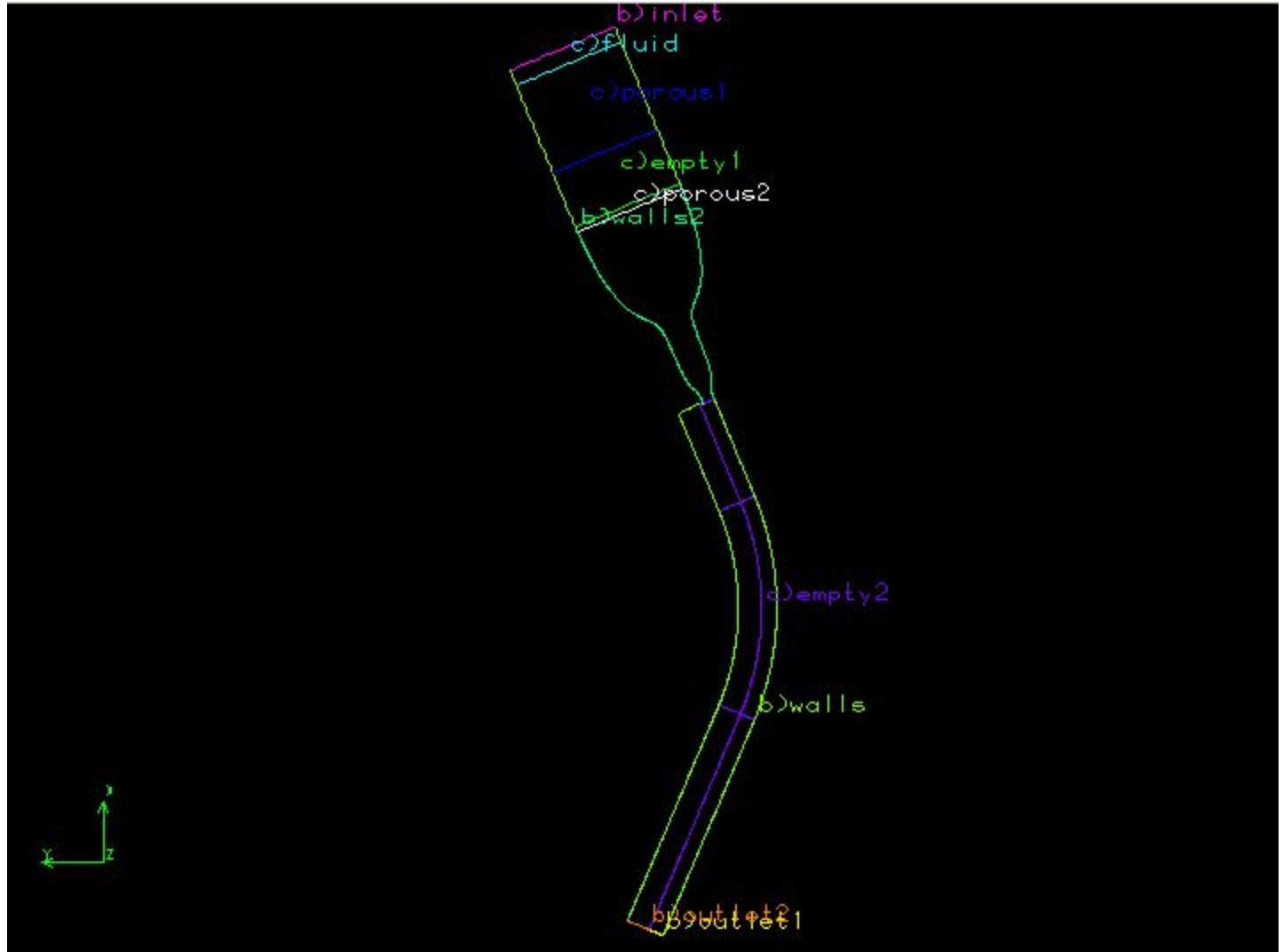


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). Пробный вариант сетки .



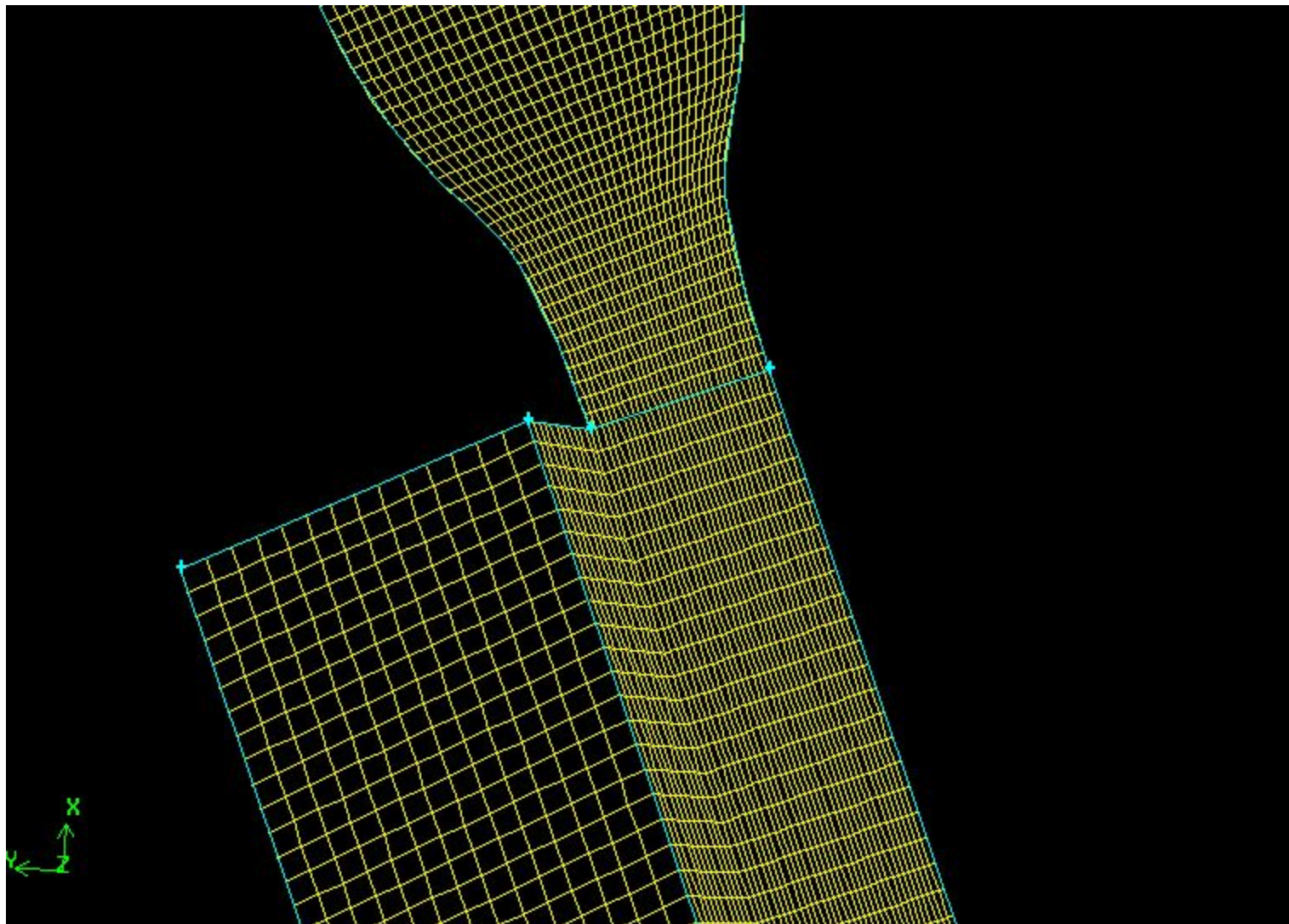


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). Граничные условия в среде кода FIDAP.



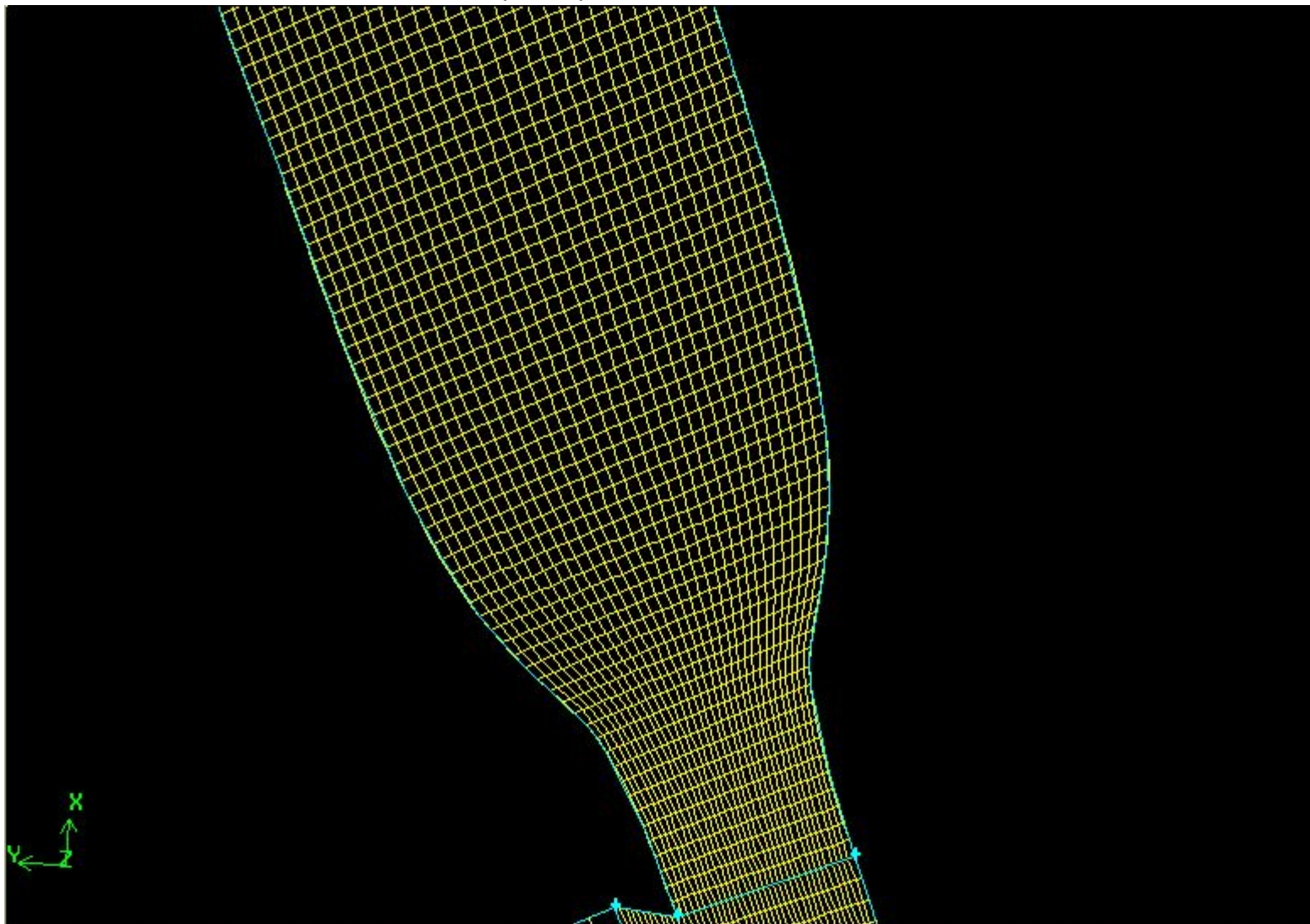


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). **ROBAST- вариант сетки** .
40 ячеек по глубине струи. Размер ячейки по высоте 0.25 мм. На область аэрозолей отведено
дополнительно 14 ячеек с таким же размером по высоте. **ОБЛАСТЬ СОПРЯЖЕНИЯ**.



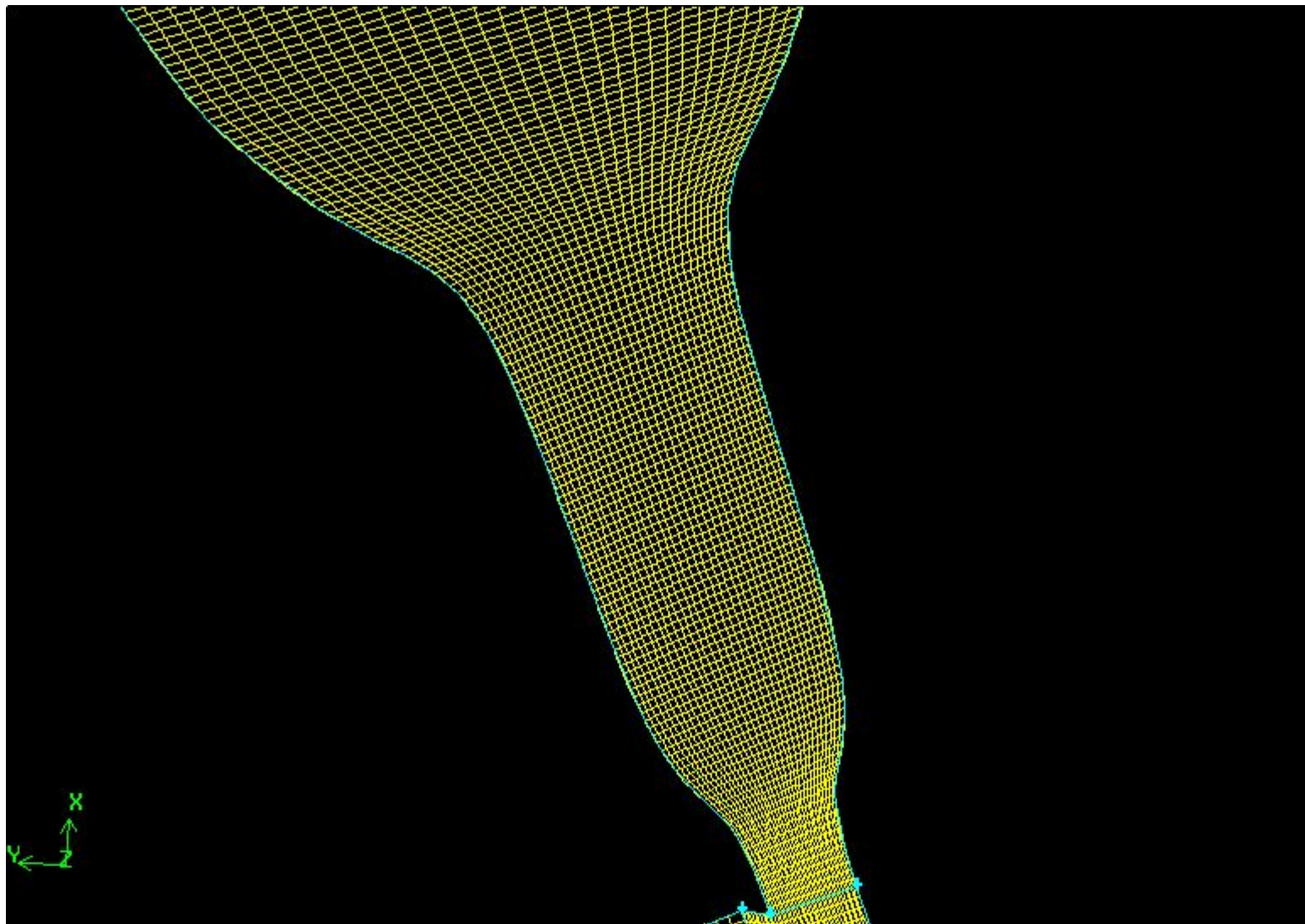


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). **ROBAST- вариант сетки** .
40 ячеек по глубине струи. Размер ячейки по высоте 0.25 мм. На область аэрозолей отведено
дополнительно 14 ячеек с таким же размером по высоте. **ВТОРАЯ СТУПЕНЬ СОПЛА.**



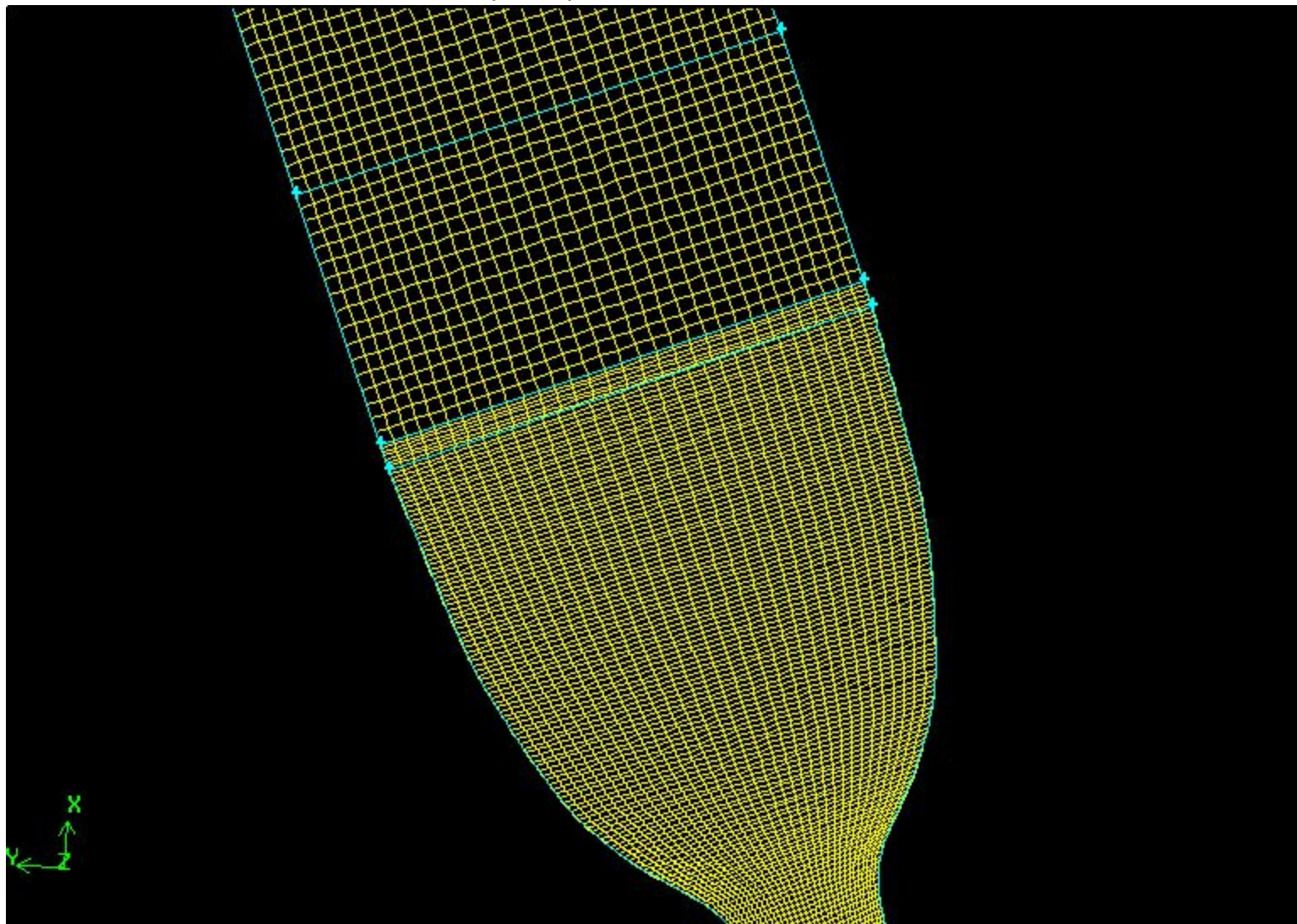


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). **ROBAST- вариант сетки** .
40 ячеек по глубине струи. Размер ячейки по высоте 0.25 мм. На область аэрозолей отведено
дополнительно 14 ячеек с таким же размером по высоте. 1 и 2 **СТУПЕНИ СОПЛА**.



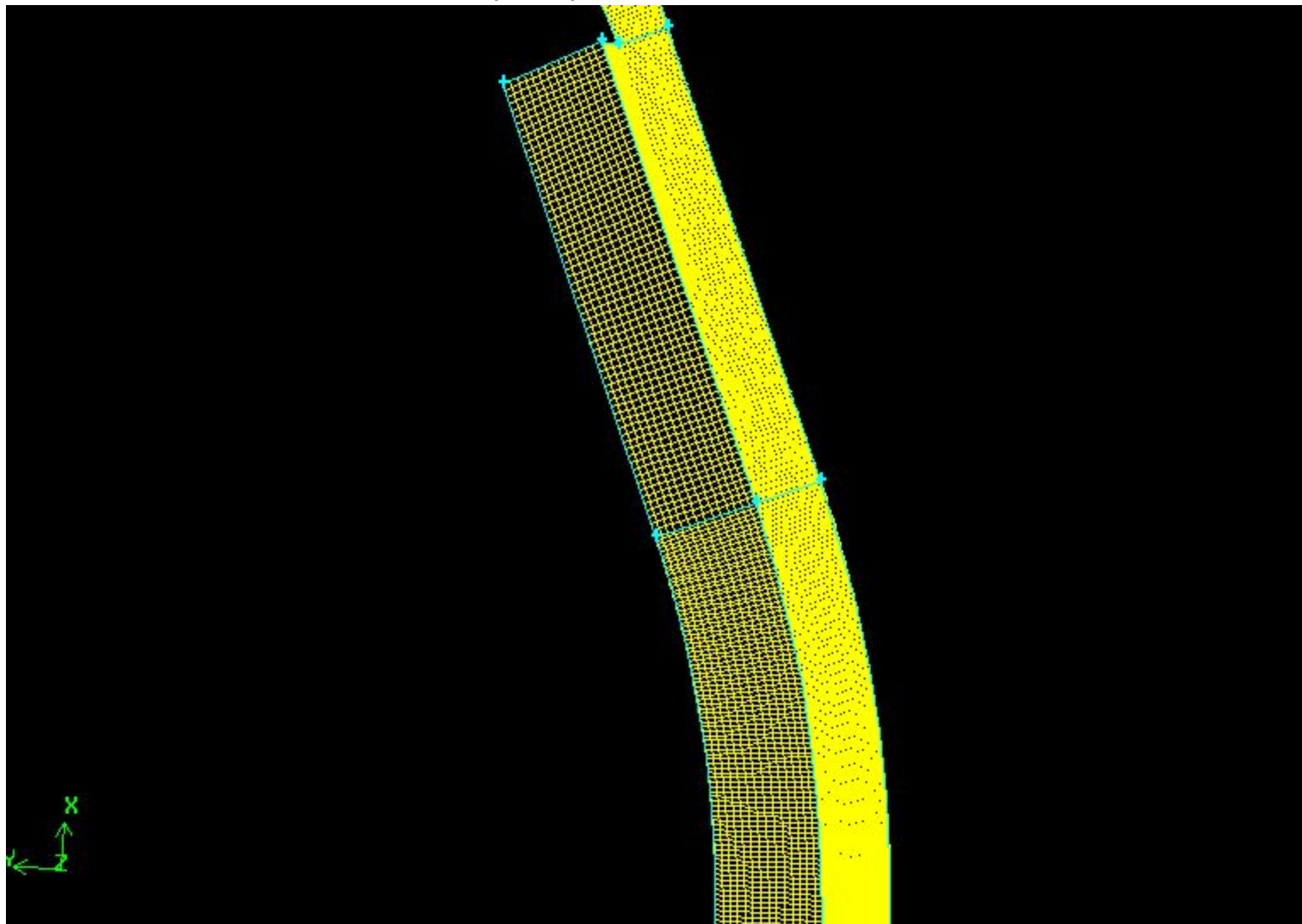


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). **ROBAST- вариант сетки** .
40 ячеек по глубине струи. Размер ячейки по высоте 0.25 мм. На область аэрозолей отведено
дополнительно 14 ячеек с таким же размером по высоте. **1 СТУПЕНЬ И ПОРИСТАЯ СТРУКТУРА**



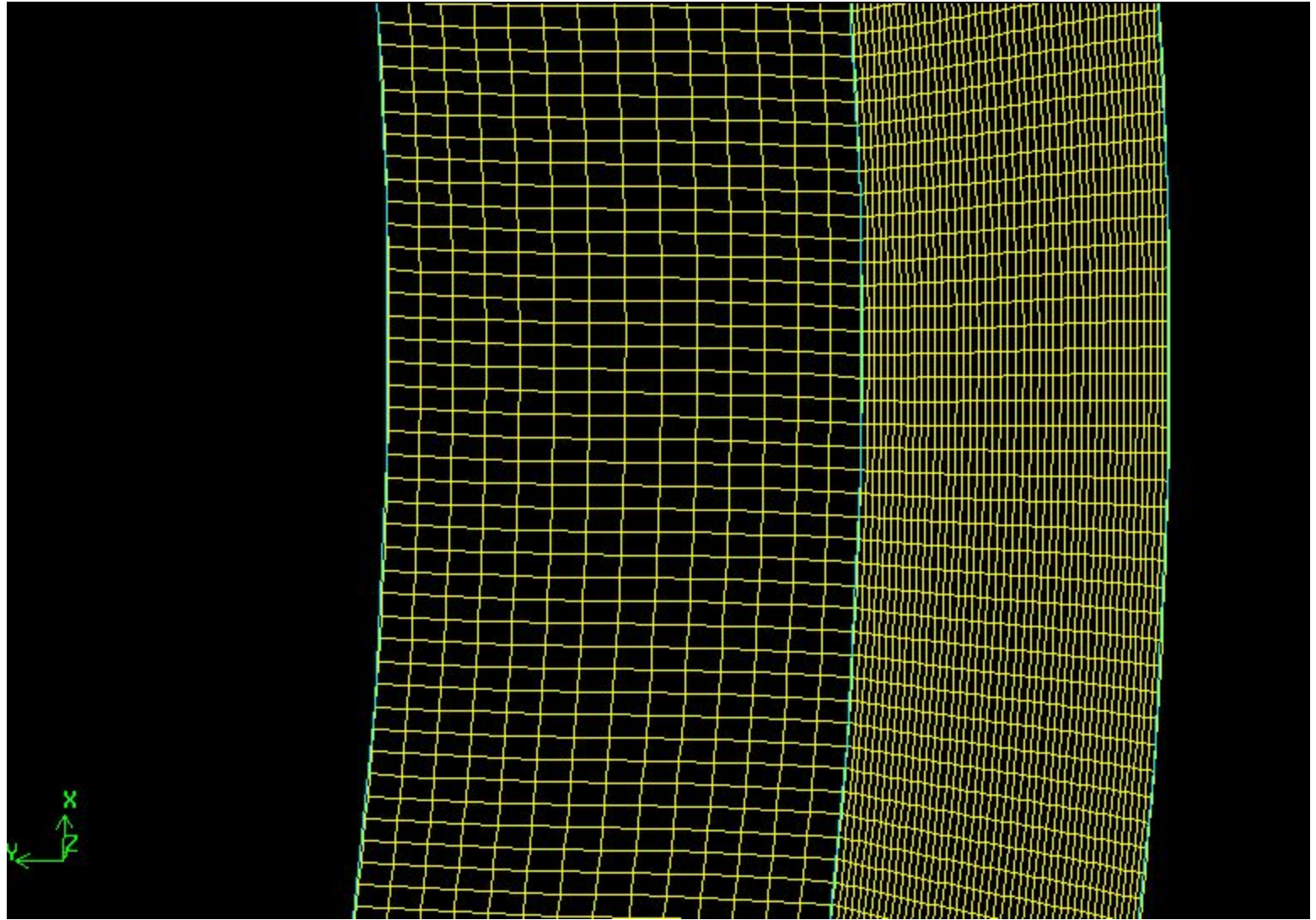


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). **ROBAST- вариант сетки** .
40 ячеек по глубине струи. Размер ячейки по высоте 0.25 мм. На область аэрозолей отведено
дополнительно 14 ячеек с таким же размером по высоте.



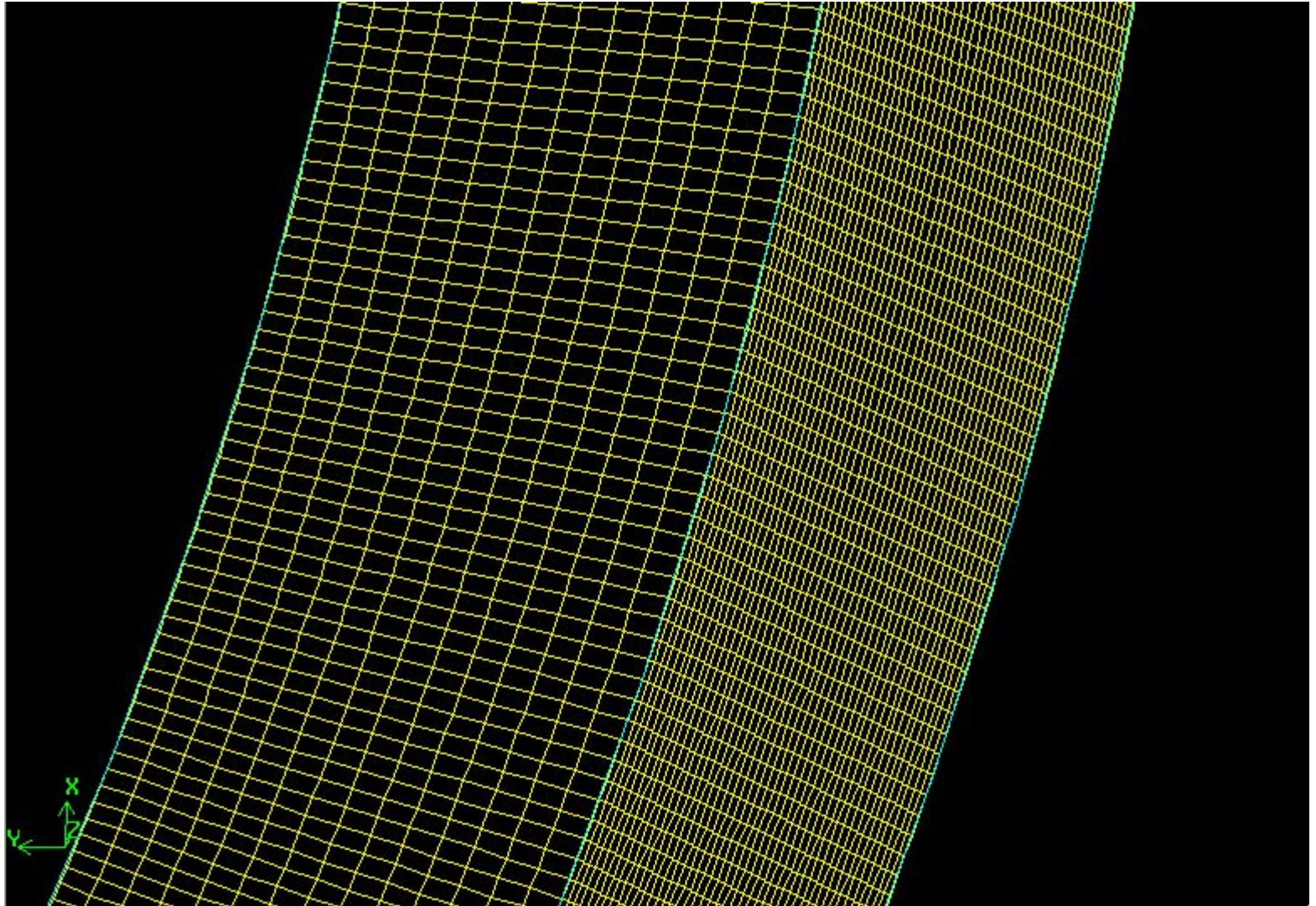


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). **ROBAST- вариант сетки** .
40 ячеек по глубине струи. Размер ячейки по высоте 0.25 мм. На область аэрозолей отведено
дополнительно 14 ячеек с таким же размером по высоте. **ОБЛАСТЬ ПУЧКА**



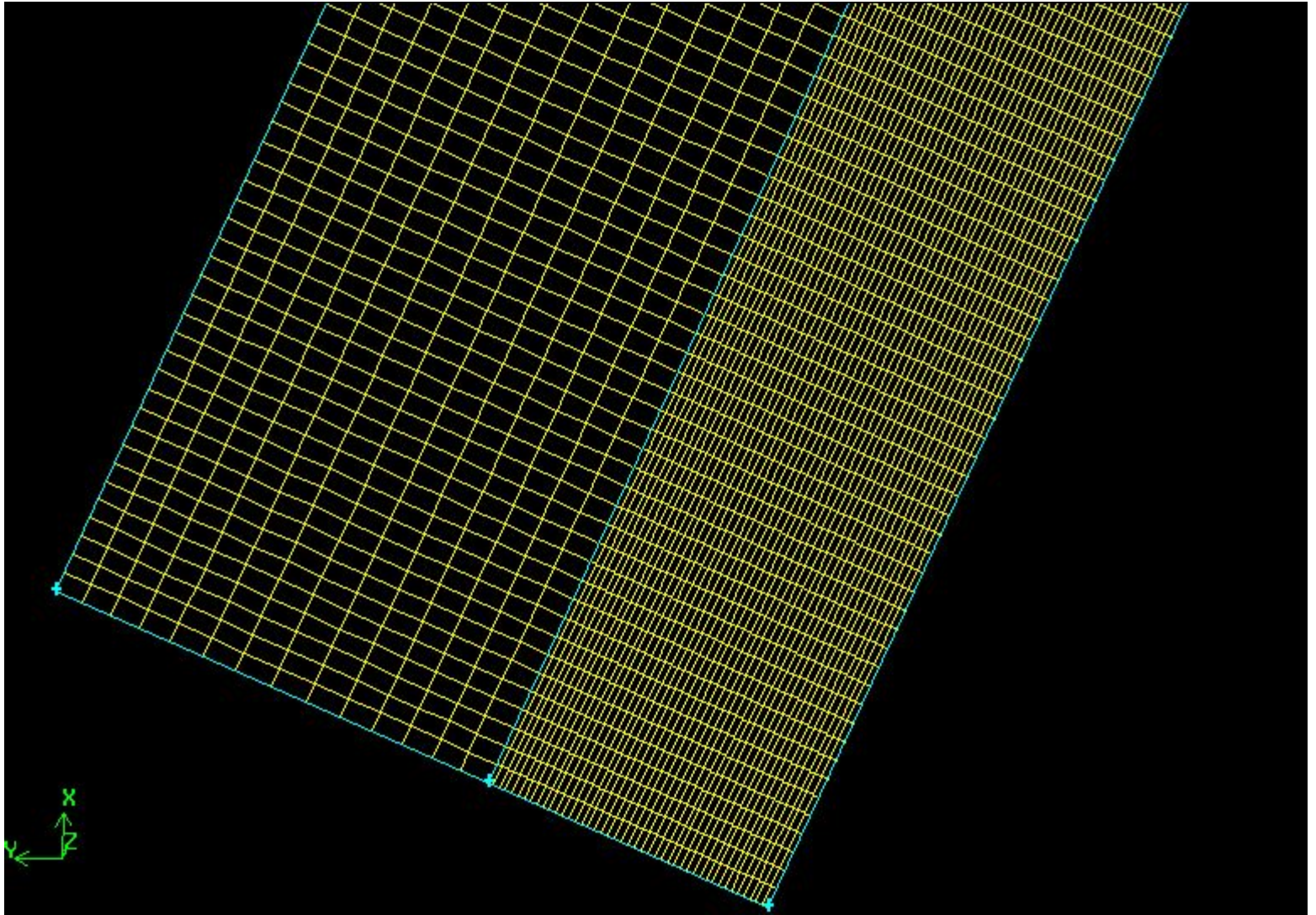


Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). **ROBAST- вариант сетки** .
40 ячеек по глубине струи. Размер ячейки по высоте 0.25 мм. На область аэрозолей отведено
дополнительно 14 ячеек с таким же размером по высоте. **ОБЛАСТЬ СЛИВА**





Вариант кромки сопла $62^{\circ}30'$ (проектное значение). **ROBAST- вариант сетки** .
40 ячеек по глубине струи. Размер ячейки по высоте 0.25 мм. На область аэрозолей отведено
дополнительно 14 ячеек с таким же размером по высоте. **ОБЛАСТЬ СЛИВА В БАК.**



1. FIDAP v. 8.7.2. Theory Manual. (1998. Fluent Inc., USA, Lebanon, NH, 03766) pp. 7-24, 10-14, 13-2÷13-3, 10.13÷10.15
2. Gambit v.2.1 Theory Manual. (2003. Fluent Inc., USA, Lebanon, NH, 03766)
3. FIELDVIEW v.8.1.f . User Guide. (2002. Intelligent Light Inc., USA, Lyndhurst, NJ, 07071)
4. A. Shima, Theory of Direct and Inverse Methods to obtain Nozzle Shape, Mem.Inst.High Sp. Mech., Japan. Vol.17, №164, (1961/1962) 61-86.
5. M. Ida et al. Thermal-Hydraulic Characteristics of IFMIF Liquid Lithium Target. ISNT-6. April 8-12, 2002, San Diego, USA.
6. ISTC Project 2036. "Lithium Circulation Loop and Lithium Neutron Target" <http://www.tech-db.ru/istc/db/projects.nsf/wu/2036>
7. Hiroo Nakamura et al. Status of Lithium Target System for International Fusion Materials Irradiation Facility (IFMIF) Fusion Engineering and Design 58-59 (2001) 919-923.
8. Hideo Nakamura et al. Water Experiment of High-speed, Free-surface, Plane Jet along Concave wall, Proceeding of the Eighth International Topical Meeting on Nuclear Reactor Thermal-Hydraulics (NURETH-8), Kyoto, Japan, September 30-October 4, (1997), 1268-1275.
9. Hiroshi Nakamura et al. Experimental Study on the Effect of Nozzle surface Finishing in High-speed water Jet, JAERI Report, JAERI-Research 2000-068, Feb. 2001 (in Japanese).
10. M. Ida et al. Water Jet Flow Simulation Experiment and Plan of Lithium free Surface Flow Experiment for IFMIF Target, Proceeding of the 10th International Conference on Fusion reactor Materials (ICFRM 10), Baden-baden, Germany, October, 14-19, 2001.
11. M. Ida et al., Fluid Stability Analysis for IFMIF Target Proceeding of the International Topical Meeting on Nuclear Applications of Accelerator technology (AccApp'98), Catlinburg, Tennessee, USA, September 22-23 (1998), 546-555.
12. IFMIF Team (edited by A. Möslang), IFMIF International Fusion Materials Irradiation Facility Conceptual Design Evaluation Report, A Supplement to the CDA by the IFMIF Team, FZK Report, FZKA6199, January 1999.
13. M. Ida et al., "Thermal and Fluid Analysis for the IFMIF Lithium Target Jet Flow," Proc. Of NURETH-8, Sept. 30-Oct. 4, 1997, p. 1276. Atomic Energy Society of Japan, (1997)
14. M. Ida et al., JAERI-Research 98-0022, (1997)
15. S. Celovani, "Thermal Hydraulics of Liquid Metal Jets", Proc. NURETH-8, Sept. 30- Oct. 4, 1997, p. 1276, Atomic Energy Society of Japan, (1997)