

УДК 54.052+662.758

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ РЕАКТИВНЫХ ТОПЛИВ

MODERN TECHNOLOGIES FOR JET FUELS

©Шиманская Е. И.

Тверской государственный технический университет
г. Тверь, Россия, shimanskaya-tstu@yandex.ru

©Shimanskaya E.

Tver State Technical University
Tver, Russia, shimanskaya-tstu@yandex.ru

©Филатова А. Е.

Тверской государственный технический университет
г. Тверь, Россия, afilatowa@mail.ru

©Filatova A.

Tver State Technical University
Tver, Russia, afilatowa@mail.ru

©Молчанов В. П.

Тверской государственный технический университет
г. Тверь, Россия, science@science.tver.ru

©Molchanov V.

Tver State Technical University
Tver, Russia, science@science.tver.ru

Аннотация. В настоящее время, в связи с постепенным истощением запасов нефти, а также с ростом загрязнения окружающей среды, остро встал вопрос о переходе на альтернативные виды топлив. При большом количестве плюсов биотоплива, его использование в гражданской авиации в настоящее время не является возможным в связи с тем, что на настоящий момент его стоимость выше, чем авиакеросина, отсутствует инфраструктура для его массового производства. Для того чтобы альтернативное биотопливо могло выйти на рынок, оно должно обладать конкурентоспособностью, низкой стоимостью, производиться из непищевых возобновляемых источников сырья и в количествах, способных покрыть потребность в авиакеросине. В данной статье рассматриваются способы получения реактивных биотоплив и возможность их применения для авиации, а также сырье для получения топлив. Все рассмотренные методы получения биотоплив имеют ряд недостатков, таких, как сырье, затраты большого количества энергии, затраты водорода, сложность и комплексность процесса, необходимость в очистке конечного продукта. Таким образом, на основании проведенных исследований, можно сделать вывод о том, что наиболее актуальными являются исследования по получению топлив из биомассы с применением процессов гидрирования.

Abstract. Currently, in connection with the gradual depletion of oil reserves, and increasing environmental pollution, there was a question about the transition to alternative fuels. With a large

number of advantages of biofuels, its use in civil aviation at present is not possible due to the fact that at the moment the cost of it is higher than of jet fuel, there is no infrastructure to mass production. For entering the market, biofuels must have competitiveness, low cost, produced from non-food renewable raw materials and in quantities that can cover the need for jet kerosene. This article discusses the methods of producing of jet biofuels and the possibility of its use for aviation, as well as raw material for fuels. All considered methods of biofuels production have several disadvantages, such as raw materials, the cost of large amounts of energy, the cost of hydrogen, the complexity of the process, the need for purification of the final product. Thus, on the basis of the conducted research it can be concluded that the most relevant are the studies for obtaining fuels from biomass with the use of hydrogenation processes.

Ключевые слова: биотопливо, реактивное топливо, биоэтанол, биобутанол, биогаз.

Keywords: biofuels, jet fuel, bioethanol, biobutanol, biogas.

Реактивное топливо играет решающую роль в авиационной отрасли. В связи с тем, что авиация несет ответственность за примерно 12% от выбросов CO₂ в атмосферу из всех источников транспорта [1], а также принимая во внимание объем потребляемого ископаемого, производство реактивного топлива из возобновляемых источников энергии является очень важным для будущей энергетической стратегии. В данной статье приводится обзор методов получения реактивного биотоплива, способы улучшения существующего топлива, а также сырье для его производства [2].

В настоящее время в связи с постепенным уменьшением общемировых запасов нефти, возрастает тенденция к поиску новых способов получения углеводородных топлив [3]. Чтобы осуществить полный переход на альтернативные виды топлив, необходимым является изменение типов двигателей, что повлечет за собой большие затраты. Поэтому наиболее актуальным направлением является разработка добавок к существующим топливам, которые позволят уменьшить выбросы углекислого газа в атмосферу, а также использовать альтернативные источники сырья для топлива, при этом не изменяя тип двигателя [4-5].

При большом количестве плюсов биотоплива, его использование в гражданской авиации в настоящее время не является возможным в связи с тем, что на настоящий момент его стоимость выше, чем авиакеросина, отсутствует инфраструктура для массового производства [6]. Для того чтобы альтернативное биотопливо могло выйти на рынок, оно должно обладать конкурентоспособностью, низкой стоимостью, производиться из непищевых возобновляемых источников сырья и в количествах, способных покрыть потребность в авиокеросине [7]. Кроме того, оно должно демонстрировать высокую энергетическую плотность, иметь хорошее качество горения, легко перевозиться, храниться и перекачиваться [8, 9].

Сырье для реактивных биотоплив

Наиболее распространенные растения для получения масел, пригодных для последующей переработки в авиатопливо, являются: подсолнечник, кукуруза (маис), пшеница и т. п.; сахарный тростник; соя, канола (рапс); орехи пальмового дерева; ятрофа [10].

Основная трудность, препятствующая использованию перечисленных растений в качестве сырья для альтернативных видов топлива для транспорта, заключается в том, что

выращивание этих растений предполагает использование плодородных земель. Поэтому более перспективным является поиск возможностей использования в качестве сырья таких растений, как прутьевидное просо и солерос, произрастающих на солончаковых и им подобных территориях, не пригодных для обычных сельскохозяйственных культур; водорослей, растущих в прибрежных акваториях морей и океанов.

Активно рассматриваются варианты использования лигноцеллюлозы и быстрорастущих водорослей [11-14].

Еще одна распространенная практика производства биотоплива является использование растительных масел, полученных из семян, таких как соя и рапс. Эти растительные масла подвергаются термическому крекингу и впоследствии химически улучшаются путем добавления водорода в процессе гидроочистки. Керосиновая фракция этих продуктов называют гидрогенизированным возобновляемым реактивным топливом. Растительные масла, гидрогенизированные только для производства дизельного топлива, как правило, не позволяют достичь требуемого качества для производства авиационного керосина, называют гидрогенизированные растительные масла.

Процесс производства алкильных эфиров жирных кислот, катализируемой переэтерификации масел природного происхождения, уже в общественном достоянии в плане производства биодизеля все еще требует совершенствования, чтобы быть пригодным для производства авиационного биокеросина [15, 16].

Виды биотоплив

Биоэтанол. Жидкое спиртовое топливо, которое можно производить из любого содержащего полисахариды органического сырья. Биоэтанол растворим в воде и нетоксичен, но имеет следующий недостаток: керосиновые двигатели в настоящее время не подходят для спиртового топлива, потому что этанол поглощает воду и разъедает двигатель и топливную магистраль, поэтому переход на биоэтанол неизбежно будет связан с выпуском специализированных двигателей воздушных судов [17, 18]. *Биобутанол.* Более калорийный и менее затратный при производстве газ, можно производить из различных видов пищевого сырья, содержащего полисахариды. В будущем для производства биобутанола можно будет использовать и целлюлозосодержащие компоненты сельскохозяйственных культур, такие как сухие стебли кукурузы или солому. *Биогаз.* Представляет собой смесь углекислого газа и метана. По стоимости он сопоставим с керосином, однако имеет меньшую плотность, с воздухом образует взрывоопасные смеси в диапазоне концентраций 5-14%, нет развитой инфраструктуры для транспортировки и хранения больших количеств жидкого метана [19, 20]. *Криогенные топлива.* К ним относят сжиженные горючие газы, жидкий водород с $T_{кип} = - 253 \text{ }^{\circ}\text{C}$ и сжиженный природный газ с $T_{кип} = - 162 \text{ }^{\circ}\text{C}$. Преимущества криотоплив заключаются не только в большем удельном (на единицу массы топлива) запасе энергии, но и в возможности более полного преобразования выделяемой энергии в полезную работу. Для получения водорода необходимо сжечь значительно больше ископаемого топлива и, соответственно, выбросить в окружающую среду значительно больше загрязняющих веществ, чем при использовании ископаемого вещества непосредственно в качестве моторного топлива. Недостатками жидкого водорода являются малая плотность, низкая криогенная температура, а также необходимость в сжигании большого количества ископаемого топлива для его получения и трудности при хранении, техническом обслуживании и применении [13, 21].

Процессы получения биотоплива

В настоящее время, био-топлива для реактивных двигателей в основном производится с помощью процессов гидродеоксигенирования-гидрокрекинга нефти и непищевой биомассы [22]. Для производства биотоплива в общем и Jet A1 в частности, может быть использовано различное биогенное сырье. К этому сырью относятся различные растения и отходы (например, сахарный тростник, зерно, масло, семена, водоросли, лигноцеллюлозная биомасса и солома, органические и животные отходы, отходы древесины).

1) HEFA процесс (биотопливо изготавливается на основе прошедших гидрообработку сложных эфиров и жирных кислот), которое было сертифицировано в 2011 г. организацией ASTM International для использования в гражданской авиации в составе 50-процентной смеси с авиакеросином Jet-A.). Данный процесс имеет и недостатки. В связи с ограниченным количеством отработанных масел и жиров и в связи с отсутствием больших количеств непищевых масел, использование в качестве сырья различных типов масел и жиров не является целесообразным. Затраты большого количества водорода для гидрирования, крекинга и изомеризации [23].

2) DSHC процесс прямого превращения сахаров в углеводороды. Данный процесс является достаточно сложным и затратным.

3) AtJ процесс. В данном процессе спирты (например, этанол, бутанол) преобразуются в топлива для реактивных двигателей путем изменения молекулы через биологические и/или химические процессы. В данном случае основным недостатком является именно сырье.

4) GtL процесс изначально разрабатывался для использования ресурсов природного газа, которые не могли быть использованы в экономически осуществимым способом путем преобразования газа в легко транспортируемые жидкие углеводороды для использования в качестве сырья в “классических” нефтеочистительных заводах. Состав конечных продуктов по технологии GTL зависит от применяемых катализаторов, температуры и давления, соотношения CO и H₂ в рабочей смеси и других факторов. При этом возможны модификации процесса с направленным получением различных полупродуктов (метанола, смеси линейных алканов и алкенов, альдегидов для производства спиртов, карбоновых кислот, аминов, многоатомных спиртов и др.). На финальном шаге происходит облагораживание полученных полупродуктов с доведением их качества до требуемых параметров. Конечными продуктами технологии GTL являются прямогонные бензины (нафта), дизельное топливо, сжиженные газы и высокомолекулярные парафины. Нафта имеет фракционный состав, который не содержит ароматических углеводородов и серы. Это позволяет ее использовать как высококачественное нефтехимическое сырье [3].

5) VtL процесс (конверсия биомассы в жидкое топливо) в рамках данного процесса твердое биотопливо преобразуются в синтез-газ, который будет впоследствии трансформирован посредством синтеза Фишера-Тропша в углеводороды с различной длиной цепи. Газификация-это технически очень сложный процесс, после которого требуется очистка газа.

6) HDCJ процесс (топливо, получаемое путем гидроочистки деполимеризованной целлюлозы). В рамках данного процесса твердая биомасса трансформируется в биомасло путем пиролиза, а затем совершенствуется до биокеросина. Технически данный процесс похож на VtL, т.е. основан на термо-химической конверсии лигноцеллюлозной биомассы. Но, в данном процессе, древесина, солома или другое твердое биотопливо, преобразуются сначала в так называемое био-масло путем пиролиза. Этот шаг деполимеризации может быть выполнен, в частности, в рамках «классического» процесса пиролиза или с помощью флюид-

каталитического крекинга биомассы. В обоих случаях биомасса преобразуется в отсутствие кислорода при относительно высоких температуре и давлении, в основном в присутствии катализатора, в био-нефть, следовательно, биомасса должна быть разбита так, чтобы ее можно было вводить в реактор вместе с катализатором. После процесса пиролиза, обычно следует процесс реакционной воды и каталитического материала, который затем регенерируется и утилизируется. Фракции продукта, т. е. пиролизной нефти и газа, затем отделяются, пар конденсируется и направляется на дальнейшую гидрообработку. После гидроочистки, т. е. превращения алкенов в алканы и реакции обессеривания, продукты разделяются на нужные фракции с помощью стандартных технологий дистилляции. Типичные выходы в процессе HDCJ достигают 41 % бензина, 37 % дизельного топлива и 22 % мазута. Этот процесс основывается на перспективной сырьевой базе и показывает огромный потенциал развития с точки зрения уменьшения затрат [13].

7) SYN-FER-J процесс. В данном процессе происходит преобразование лигноцеллюлозы в реактивное топливо путем газификации с последующей ферментацией синтез-газа в этанол и, наконец, этанол улучшается до реактивного топлива. Процесс SYN-FER-J достиг этанола для реактивного топлива массового выхода 0.54, что несколько ниже теоретического достижимого массового выхода 0.61 [23].

8) S-ETH-J процесс. Получение реактивного топлива с помощью ферментации сока сахарного тростника в этанол с последующей модернизацией этанола. Изначально сахарный тростник очищается, после чего происходит извлечение сахарозы в диффузоре [16].

Заключение

Для того чтобы альтернативное биотопливо могло выйти на рынок, оно должно обладать конкурентоспособностью, низкой стоимостью, производиться из непищевых возобновляемых источников сырья и в количествах, способных покрыть потребность в авиокеросине. Все рассмотренные в данной статье методы получения биотоплив имеют ряд недостатков, таких, как сырье, затраты большого количества энергии, затраты водорода, сложность и комплексность процесса, необходимость в очистке конечного продукта. Таким образом, на основании проведенных исследований, можно сделать вывод о том, что наиболее актуальными являются исследования по получению топлив из биомассы с применением процессов гидрирования.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского Фонда Фундаментальных Исследований в рамках проекта 15-08-00245 А.

Список литературы:

1. Corporan E. et al. Impacts of Biodiesel on Pollutant Emissions of a JP-8-Fueled Turbine Engine // *J. Air & Waste Manage Assoc.* 1995. V. 55. P. 940-949.
2. Lu M., Liu X., Li Y., Nie Y., Lu X., Deng D., Xie Q., Ji J. Hydrocracking of bio-alkanes over Pt/Al-MCM-41 mesoporous molecular sieves for biojet fuel production // *AIP Journal of Renewable and Sustainable Energy.* 2016. V. 8. №5.
3. Zhang C., Hui X., Lin Y., Sung C.-J. Recent development in studies of alternative jet fuel combustion: Progress, challenges, and opportunities // *Renewable and Sustainable Energy Reviews.* 2016. 54. P. 120-138.
4. Завялик И. И., Олешко В. С., Самойленко В. М., Фетисов Е. В. Моделирование функционирования агрегатов топливной системы газотурбинного двигателя летательного

аппарата с учетом изменения качества авиационного топлива // Научный вестник Московского государственного технического университета гражданской авиации. 2016. №225. С. 49-54.

5. Синяк Ю. В., Колпаков А. Ю. Эффективность производства синтетических моторных топлив из природного газа // Проблемы прогнозирования. 2012. №1. С. 38-49.

6. Гилев В. Е., Иванская Н. Н. Альтернативные виды топлива в гражданской авиации // Современные технологии: актуальные вопросы, достижения и инновации. Сборник статей победителей IV Международной научно-практической конференции. 2016. С. 59-62.

7. Риск загрязнения авиационного керосина (реактивного топлива) биодизельным топливом // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. 2010. № 1. С. 38.

8. Муравлев С. П. Использование биотоплива в авиации // НТИ. 2012. №2. С. 52-54.

9. Найман М. О., Шарипов Р. Р., Найман С. М., Клочков В. В., Ратнер С. В. Возможность применения биотоплива на авиатранспорте // Управление развитием «зеленых» технологий: экономические аспекты. М.: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2012. С. 287.

10. Han J., Elgowainy A., Cai H., Wang M. Q. Life-cycle analysis of bio-based aviation fuels // Volume 150. 2013. P. 447-456.

11. Шиманская Е. И., Сульман Э. М., Степачева А. А., Луговой Ю. В., Никошвили Л. Ж. Пути переработки лигнина с получением биомасел // Вестник Тверского государственного университета. Серия: Химия. 2015. №1. С. 16-23.

12. Шиманская Е. И., Степачева А. А., Луговой Ю. В., Сульман Э. М., Филатова А. Е., Сульман М. Г., Ребров Е. В. Переработка лигнина и лигнин-содержащего сырья в жидкие топлива // Научно-технический вестник Поволжья. 2015. №5. С. 99-101.

13. Авиация и альтернативные виды авиационного топлива: Рабочий документ ICAO A37-WP/23. Монреаль: ICAO. 2010. 5 с.

14. Николайкин Н. И., Мельников Б. Н., Большунов Ю. А. Перевод на альтернативные виды топлива как способ повышения энергетической и экологической эффективности транспорта // Научный вестник МГТУ ГА. №162. 2010. С. 12-21.

15. Varshini M., Shetty D. Experimentation on bio-kerosene stove using organic additive // AIP Conference proceedings. 2017. V. 1859.

16. Neuling U., Kaltschmitt M. Conversion routes for production of biokerosene - status and assessment // Biomass Conv. Bioref. 2015. 5. P. 367-385.

17. Бешкарева М. А., Третьяков В. Ф. Получение авиационного топлива из биоспиртов для современных двигателей // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю. А. Овчинникова. 2012. Т. 8. №4. С. 61-62.

18. Третьяков В. Ф., Тальшинский Р. М., Илолов А. М., Будняк А. Д. Получение авиационного топлива конверсией биоэтанола на цеолитных катализаторах // Нефтехимия. 2016. Т. 56. №3. С. 241.

19. Постоев С. К., Зайцев В. П. Современное состояние и возможности перевода вертолетов и самолетов региональной авиации на авиационное сконденсированное топливо // АСКТ Научный вестник ГосНИИ ГА. 2010. №1 (311). С. 119-124.

20. Ковалева Ю. С., Воробьев А. Г., Боровик И. Н., Хохлов А. Н., Казеннов И. С. Двигатели и энергетические установки летательных аппаратов. Жидкостный ракетный двигатель малой тяги на топливе газообразный кислород и газообразный метан // Вестник МАИ. 2011. Т. 18. №3. С. 45-54.

21. Lee D. S., Fahey D. W., Forster P. M., Newton P. J., Ron C. N. Wit, Lim L. L., Owena B., Sausen R. Aviation and global climate change in the 21st century // *Atmospheric Environment*. 2009. V. 43. P. 3520-3537.

22. Eller Z., Varga Z., Hancsok J. Advanced production process of jet fuel components from technical grade coconut oil with special hydrocracking // *Fuel*. 2016. V. 182. P. 713–720.

23. Diederichs G. W., Mandegari M. A., Farzad S., Görgens J. F. Techno-economic comparison of biojet fuel production from lignocellulose, vegetable oil and sugar cane juice // *Bioresource Technology*. 2016. 216. P. 331–339.

References:

1. Corporan, E., & al. (1995). Impacts of Biodiesel on Pollutant Emissions of a JP-8-Fueled Turbine Engine. *J. Air & Waste Manage Assoc.*, 55, 940-949

2. Lu, M., Liu, X., Li, Y., Nie, Y., Lu, X., Deng, D., Xie, Q., & Ji, J. (2016). Hydrocracking of bio-alkanes over Pt / Al-MCM-41 mesoporous molecular sieves for biojet fuel production. *AIP Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 8, (5)

3. Zhang, C., Hui, X., Lin, Y., & Sung, C.-J. (2016). Recent development in studies of alternative jet fuel combustion: Progress, challenges, and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54. 120-138

4. Zavyalik, I. I., Oleshko, V. S., Samoylenko, V. M., & Fetisov, E. V. (2016). Modeling the functioning of aggregates of the fuel system of a gas turbine engine of an aircraft with allowance for changes in the quality of aviation fuel. *Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation*, (225), 49-54

5. Sinyak, Yu. V., & Kolpakov, A. Yu. (2012). Efficiency of production of synthetic motor fuels from natural gas. *Studies on Russian Economic Development Problems of forecasting*, (1), 38-49.

6. Gilev, V. Ye., & Ivanskaya, N. N. (2016). Alternative Fuels in Civil Aviation. *Modern Technologies: Current Issues, Achievements and Innovations*, 59-62

7. The risk of contamination of aviation kerosene (jet fuel) with biodiesel fuel. *World of oil products. Bulletin of oil companies*, (1), 38

8. Muravlev, S. P. (2012). The use of biofuel in aviation. *STI*, (2), 52- 54

9. Naiman, M. O., Sharipov, R. R., Naiman, S. M., Klochkov, V. V., & Ratner, S. V. (2012). Possibility of using biofuel on air transport. Management of the development of green technologies: economic aspects. Moscow, Scientific publication / Institution of the Russian Academy of Sciences Institute of Control Sciences named after V. A. Trapeznikov, RAS, 287

10. Han, J., Elgowainy, A., Cai, H., & Wang, M. Q. (2013). Life-cycle analysis of bio-based aviation fuels. *Volume 150*, 447-456

11. Shimanskaya, E. I., Sulman, E. M., Stepacheva, A. A., Lugovoi, Yu. V., & Nikoshvili, L. Zh. (2015). Ways of lignin processing with biomass production. *Bulletin of Tver State University. Series: Chemistry*, (1), 16-23

12. Shimanskaya, E. I., Stepacheva, A. A., Lugovoi, Yu. V., Sulman, E. M., Filatova, A. E., Sulman, M. G., & Rebrov, E. V. (2015). Processing of lignin and lignin-containing raw materials into liquid fuels. *Scientific and Technical Herald of the Volga Region*, (5), 99-101

13. Aviation and alternative types of aviation fuel: Working paper ICAO A37-WP / 23. Montreal, ICAO, 2010, 5

14. Nikolaykin, N. I., Melnikov, B. N., & Bolshunov, Yu. A. (2010). Transfer to alternative fuels as a way to increase the energy and environmental efficiency of transport. *Scientific Bulletin of MGTU GA*, (162), 12-21
15. Varshini, M., & Shetty, D. (2017). Experimentation on bio-kerosene stove using organic additive. *AIP Conference proceedings*, 1859
16. Neuling, U., & Kaltschmitt, M. (2015). Conversion routes for production of biokerosene-status and assessment. *Biomass Conv. Bioref.*, 5, 367-385
17. Beshkareva, M. A., & Tretyakov, V. F. (2012). Obtaining aviation fuel from bio-alcohols for modern engines. *Vestnik biotekhnologii i fiziko-khimicheskogo biologii im. Yu. A. Ovchinnikov*, 8, (4), 61-62
18. Tretyakov, V. F., Talyshinsky, R. M., Polov, A. M., & Budnyak, A. D. (2016). Production of aviation fuel by conversion of bioethanol on zeolite catalysts. *Petrochemistry*, 56, (3), 241
19. Postoev, S. K., & Zaitsev, V. P. (2010). State-of-the-art condition and possibilities of transfer of helicopters and aircraft of regional aviation to aviation condensed fuel. *ASKT Scientific Bulletin of GosNII GA*, (1), 119-124
20. Kovaleva, Yu. S., Vorobyov, A. G., Borovik, I. N., Khokhlov, A. N., & Kazennov, I. S. (2011). Engines and power plants of aircraft. Liquid rocket engine of low thrust on fuel, gaseous oxygen and gaseous methane. *Vestnik MAI*, 18, (3), 45-54
21. Lee, D. S., Fahey, D. W., Forster, P. M., Newton, P. J., Ron, C. N. Wit, Lim, L. L., Owena, B., & Sausen, R. (2009). Aviation and global climate change in the 21st century. *Atmospheric Environment*, 43, 3520-3537
22. Eller, Z., Varga, Z., & Hancsok, J. (2016). Advanced production process of jet fuel components from technical grade coconut oil with special hydrocracking. *Fuel*, 182, 713-720
23. Diederichs, G. W., Mandegari, M. A., Farzad, S., & Görgens, J. F. (2016). Techno-economic comparison of biojet fuel production from lignocellulose, vegetable oil and sugar cane juice. *Bioresource Technology*, 216, 331-339

Работа поступила
в редакцию 19.10.2017 г.

Принята к публикации
23.10.2017 г.

Ссылка для цитирования:

Шиманская Е. И., Филатова А. Е., Молчанов В. П. Современные технологии получения реактивных топлив // Бюллетень науки и практики. Электрон журн. 2017. №11 (24). С. 21-28. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/shimanskaya-filatova> (дата обращения 15.11.2017).

Cite as (APA):

Shimanskaya, E., Filatova, A., & Molchanov, V. (2017). Modern technologies for jet fuels. *Bulletin of Science and Practice*, (11), 21-28