

Е. М. Готлиб, В. И. Дворкина, А. П. Рахматуллина

**ПРОГРЕСС В ПРОИЗВОДСТВЕ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ**

*Ключевые слова:* эпоксидная смола, эпоксидное число, динамическая вязкость, содержание летучих и омыляемого хлора, твердость, золь-гель анализ, износостойкость, жизнеспособность.

Эпоксидные материалы незаменимы в электронной промышленности, строительстве, авиа- и автомобилестроении, ракетной, космической и спецтехнике, а также в быту. Более 95% рынка эпоксидных смол в нашей стране в настоящее время обеспечивается импортом, в основном, из Китая. Поэтому, важной является реализация группой компаний «Полипласт» проекта завода, мощностью до 55 тыс. тонн в год, эпоксидно-диановых смол, запуск которого запланирован на второй квартал 2026 года, и который уже выпускает тестовые партии этих олигомеров на пилотной установке. Физико-химические свойства диановых эпоксидных смол, жизнеспособность эпоксидных композиций, твердость отвержденных полимеров оценивали по стандартным методикам. Отверждение проводили аминоалкилфенолом АФ-2 в течение 7 суток при комнатной температуре. Золь-гель анализ проводили методом экстракции кипящим ацетоном в аппарате Сокслета в течение 6 ч. Прочность при изгибе оценивали на приборе Shimadzu AG-50 kNX. Нами сравнивались свойства смол известного китайского производителя, традиционной для СССР ЭД-20 и полученной на опытно-промышленной установке «Полипласт-Уралсиб», а также эксплуатационные и технологические характеристики отвержденных полимеров на их основе. У опытного отечественного образца примерно одинаковая с китайской смолой концентрация эпоксидных групп, а содержание омыляемого хлора и динамическая вязкость ниже. Эксплуатационные характеристики полимеров на основе китайской и опытно-промышленной отечественной смол примерно на одном уровне, а ЭД-20 – значительно ниже. При этом, большее влияние на эти показатели оказывает эпоксидное число исходных олигомеров, определяющее степень поперечного сшивания отвержденных материалов. Самую большую жизнеспособность имеют композиции на основе смолы ЭД-20 из-за ее более низкого эпоксидного числа и большей вязкости.

Е. М. Gotlib, B. I. Dvorkina, A. P. Rakhmatullina

**PROGRESS IN EPOXY REZIN PRODUCTION**

*Keywords:* epoxy resin, epoxy number, dynamic viscosity, content of volatile and saponifiable chlorine, sol-gel analysis, strength, vitality.

Epoxy materials are indispensable in the electronics industry, construction, aircraft and automotive manufacturing, rocket, space, and special equipment, as well as in everyday life. More than 95% of the epoxy resin market in our country is currently supplied by imports, primarily from China. Therefore, the «Polyplast» group of companies is implementing a project for a plant with a capacity of up to 55 thousand tons per year for epoxy-diane resins. The launch of the plant is scheduled for the second quarter of 2026, and it is already producing test batches of these oligomers at a pilot plant. The physicochemical properties of diane epoxy resins, the viability of epoxy compositions, and the hardness of cured polymers were evaluated using standard methods. Curing was performed with aminoalkylphenol AF-2 for 7 days at room temperature. Sol-gel analysis was performed using boiling acetone extraction in a Soxhlet apparatus for 6 h. Flexural strength was assessed using a Shimadzu AG-50 kNX instrument. We compared the properties of resins from a well-known Chinese manufacturer, the traditional USSR ED-20, and those obtained at the «Polyplast-Uralsib» pilot plant, as well as the operational and technological characteristics of cured polymers based on them. The domestic oligomer has approximately the same concentration of epoxy groups as the Chinese resin, but the saponifiable chlorine content and dynamic viscosity are lower. The performance characteristics of polymers based on Chinese and experimental domestic resins are approximately the same, while ED-20 is significantly lower. Moreover, the epoxy number of the original oligomers, which determines the degree of cross-linking of the cured materials, has a greater influence on these indicators. The compositions based on ED-20 resin have the highest viability due to its lower epoxy number and higher viscosity.

**Введение**

Благодаря своим уникальным свойствам, в том числе высокой адгезии и термостойкости, хорошим изоляционным и механическим показателям, эпоксидная смола является наиболее часто используемой основой для клеев, защитных покрытий, герметиков, заливочных и пропиточных составов, наливных полов промышленных зданий, эмалей, шпатлевок, грунтовок, матрицы для армированных и дисперсонаполненных композитов [1, 2].

Эпоксидные материалы незаменимы в электронной промышленности, строительстве, авиа- и автомобилестроении, ракетной, космической и спецтехнике, а также в быту [3].

В СССР производилось порядка 10% от мирового объема эпоксидных смол. Но к концу 2000-х годов в

России закрылось большинство подобных производств. Прекратило существование и единственное в стране предприятие на базе «Усольехимпрома», работавшее с эпихлоргидрином – сырьём для синтеза эпоксидной смолы.

Более 95% рынка эпоксидных смол в нашей стране в настоящее время обеспечивается импортом, в основном, из Китая.

Единственным официальным производителем эпоксидной смолы в России остаётся завод имени Свердлова в Дзержинске, однако, объём его производства составляет всего около 2 тыс. т в год, и в качестве сырья используется импортный эпихлоргидрин.

Потребность России в эпоксидных смолах оценивается примерно в 57 тыс. т в год [4].

Эпоксидные смолы являются стратегически важным сырьём и возобновление их крупнотоннажного

выпуска в России представляется задачей импортозамещения государственной важности.

В связи с этим, следует отметить, что группа компаний «Полипласт» реализует проект завода на Урале мощностью до 55 тыс. т в год жидких и твердых эпокси-диановых смол, запуск которого запланирован на второй квартал 2026 года. Это позволит покрыть внутренний спрос в ключевых секторах, таких как лакокрасочные материалы (56%), композиты (21%) и строительство (10%).

Поэтому актуально сравнить физико-химические свойства смол известного китайского производителя Sinopet, традиционной и широко распространенной в СССР ЭД-20 и полученной на опытно-промышленной установке «Полипласт-Уралсиб», а также эксплуатационные и технологические характеристики отвержденных полимеров на основе этих олигомеров.

Несмотря на изученность реакции синтеза диглицидилового эфира бисфенола из дифенилолпропана и эпихлоргидрина, изменение свойств исходного сырья и разработка современных подходов к получению полупродуктов, делает направленное регулирование свойств диановых эпоксидных смол актуальной научной задачей.

При синтезе диглицидилового эфира дифенилолпропана могут образовываться различные побочные продукты, что происходит из-за параллельных процессов гидролиза, алкоголизации и аномального раскрытия эпоксидных колец. Это влияет на качество эпоксиолигомеров, определяющее эксплуатационные характеристики отвержденных полимеров.

### Экспериментальная часть

Изучались композиции на основе диановых эпоксидных олигомеров:

- CYD 128 производства Китайской государственной компании Sinopec Bailing Petrochemical Co., Ltd. (CAS No.1675-54-3);
- тестовой отечественной смолы (Т.О.), произведенной на пилотной установке в «Полипласт-Уралсиб» (ТУ 20.16.40-175-58042865-2024);
- ЭД-20 (ГОСТ 10587-84).

Физико-химические свойства диановых эпоксидных смол оценивали по ТУ 20.16.40-175-58042865-2024. Отверждение проводилось аминоксилфенолом АФ-2 (ТУ 2494-052-00205423-2004), имеющим динамическую вязкость при 50 °С – 1,4 мПа·с; массовую долю титруемого азота – 15,66% при эквимолярном соотношении [эпоксигруппы]:[амины], в течение 7 суток при комнатной температуре. Золь-гель анализ проводился в соответствии с ГОСТ 18694-80, методом экстракции кипящим ацетоном в аппарате Сокслета в течение 6 ч. Жизнеспособность эпоксидных композиций определялась по ТУ 2494-511-00203521-94. Твердость отвержденных полимеров определялась по методу Шора по шкале D (ГОСТ 24621-91). Прочность при изгибе оценивалась по ГОСТ 4648-2014 на приборе Shimadzu AG-50 kNX, при использовании программного обеспечения Shimadzu Trapiziumx.

### Обсуждение результатов

Основные показатели качества промышленных эпоксидных олигомеров, Китайского и Советского

производства, в сравнении с тестовым образцом, полученным на опытной установке «Полипласт-Уралсиб», приведены в табл. 1.

**Таблица 1 – Сравнительные физико-химические характеристики исследуемых эпоксидных олигомеров**

**Table 1 – Comparative physical and chemical characteristics of the researched epoxy oligomers**

Эпоксидная смола	Массовая доля эпоксидных групп, %	Динамическая вязкость при 25°С, Па·с	Массовая доля омыляемого хлора, %	Массовая доля летучих, %
Т.О.	23,4	10,3	0,0012	0,05
CYD-128	23,2	11,9	0,0045	0,07
ЭД-20	21,6	19,5	0,5300	0,60

Известно [4], что эпоксидные эквиваленты существенно влияют на поведение смол в процессе отверждения, механические, термические и адгезионные свойства пространственно-сшитых материалов. Этот показатель практически не отличается у Китайской и опытно-промышленной отечественной смол (табл. 1). Однако, массовая доля эпоксидных групп несколько ниже у ЭД-20.

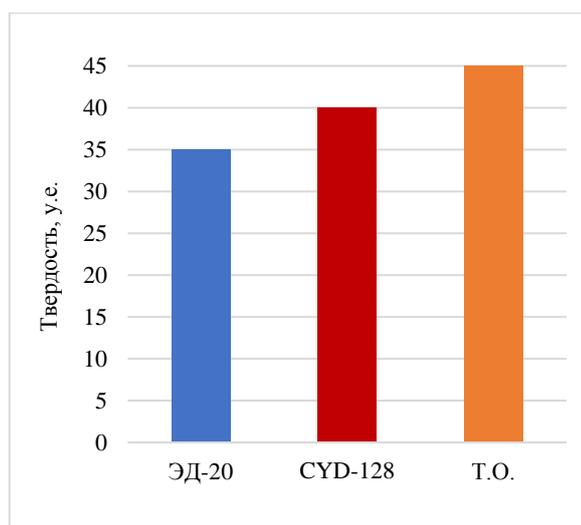
Следует отметить, что у отечественного эпоксидного олигомера тестовой партии самая низкая динамическая вязкость (табл. 1), что должно положительно сказываться на технологических свойствах и облегчать формирование сетчатой структуры [5].

Содержание омыляемого хлора также значительно ниже у опытной партии отечественной эпоксидной диановой смолы, по сравнению как с традиционной ЭД-20 (в 100 раз), так и с промышленным олигомером одного из ведущих китайских производителей (почти в 4 раза).

Содержание летучих веществ также самое меньшее у эпоксидной смолы опытной партии, выпущенной в России (табл. 1), что должно улучшить деформационно-прочностные характеристики отвержденных полимеров на ее основе и повысить устойчивость в агрессивных средах вследствие уменьшения дефектности структуры [6].

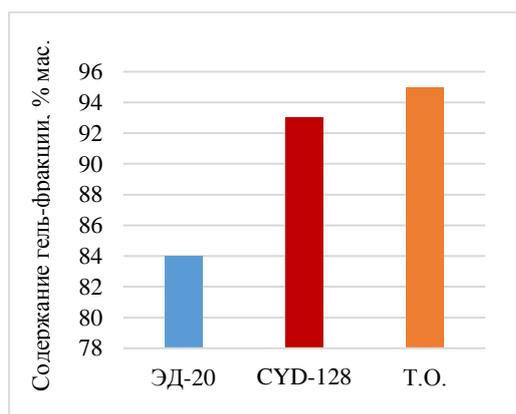
Действительно, сетчатые полимеры на основе отечественного олигомера опытно-промышленной партии имеют несколько более высокие (на 10 %) значения твердости (рис. 1) по сравнению с материалами, полученными с использованием CYD-128.

В тоже время твердость по Шору полимера на основе наиболее распространенной в СССР смолы марки ЭД-20 существенно (на 22 %) ниже, чем у современной отечественной смолы опытной партии. Этот показатель у нее также выше, чем у китайского полимера.



**Рис. 1 – Твердость эпоксидных полимеров**  
**Fig. 1 – Hardness of epoxy polymers**

Это обусловлено тем, что ЭД-20 содержит меньшую концентрацию эпоксидных групп (табл. 1), что обуславливает меньшую степень поперечного сшивания, на что указывает более низкое содержание гель-фракции (рис. 2).



**Рис. 2 – Содержание гель-фракции отвержденных полимеров на основе эпоксидных смол с различными физико-химическими свойствами**  
**Fig. 2 – Content of gel fraction of cured polymers based on epoxy resins with different physico-chemical properties**

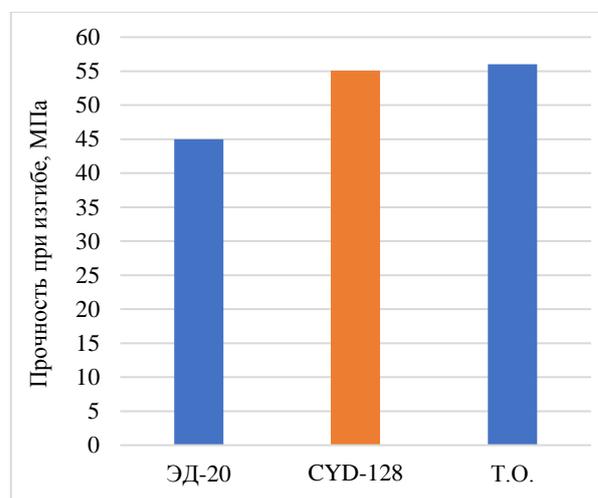
Кроме того, у ЭД-20 из-за неполного завершения реакции дегидрохлорирования в процессе синтеза наблюдается более высокое содержание омыляемого хлора (табл. 1), что, как известно, приводит к снижению эксплуатационных свойств отвержденных эпоксидных материалов [7].

Степень отверждения композиций на основе китайской смолы и отечественного опытного образца эпоксидного олигомера примерно на одном уровне (рис. 2) из-за одинакового содержания у них эпоксидных групп (табл. 1).

Несколько более высокая твердость полимера из смолы отечественной опытной партии связана, вероятно, с ее более низкой вязкостью и содержанием летучих.

Высокая вязкость диановых смол замедляет удаление пузырьков воздуха и затрудняет взаимодействие с отвердителем, а наличие летучих компонентов может вызвать образование дефектов структуры полимера [8].

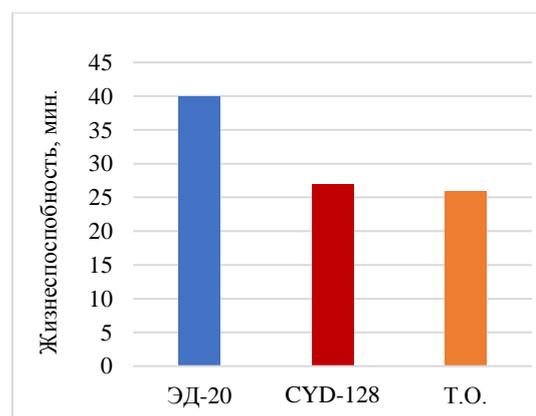
Прочность при изгибе эпоксидных материалов на основе CYD-128 и опытного российского образца примерно на одном уровне, а при применении ЭД-20 существенно (на 20 %) ниже (рис. 3).



**Рис. 3 – Прочность при изгибе эпоксидных композиций**

**Fig. 3 – Flexural strength of epoxy composites**

Самая высокая жизнеспособность наблюдается у композиций на основе ЭД-20 (рис. 4). Возможно, это связано как с более низким эпоксидным числом, так и большей вязкостью этого эпоксидного олигомера, что делает процесс отверждения более медленным из-за меньшей концентрации реакционно-способных групп и затруднения их контакта в более вязкой системе.



**Рис. 4 – Жизнеспособность композиций на основе изучаемых эпоксидных смол**

**Fig. 4 – Viability of compositions based on the researched epoxy resins**

### Заключение

Анализ экспериментальных данных показал, что эксплуатационные характеристики полимеров на основе китайской и опытно-промышленной отечествен-

ной смол примерно на одном уровне, а ЭД-20 – значительно ниже. При этом наибольшее влияние на них оказывает эпоксидное число исходных олигомеров, определяющее степень поперечного сшивания отвержденных материалов.

Самую большую жизнеспособность имеют композиции на основе смолы ЭД-20 из-за более низкого эпоксидного числа и большей вязкости.

Таким образом, опытно-промышленная смола российского производства способна выполнить функцию импортозамещения и использоваться как основа защитных и клеевых материалов, а также связующих угле- и стеклопластиков и для других применений.

### Литература

1. Чурсова Л.В., Панина Н.Н., Гребенева Т.А., Кутергина И.Ю. Эпоксидные смолы, отвердители, модификаторы и связующие на их основе. – С.-Пб: ЦОП Профессия, 2020. 576 с.
2. Иржак В.И. Эпоксидные полимеры и композиты с эпоксидной матрицей. – М.: РАН, 2022. 288 с.
3. Федосеев М.С., Державинская Л.Ф., Кочергин А.В. Вестник ТвГУ. Серия: Химия. **1**, 94-103 (2018).
4. Прокопова Л.А., Головина Е.Ю. Труды ВИАМ. **1**(73), 13-20 (2019). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-1-13-20.
5. C. Liu, Y. He, M. Sun, X. Zhang, B. Zhang, X. Bai. Polymer. **288**, 126450 (2023). DOI: 10.1016/j.polymer.2023.126450.
6. Alikin M.B., Alekseeva K.D., Panfilov D.A., Dvorko I.M., Lavrov N.A. Mechanics of Composite Materials. **58**(5), 697-704 (2022). DOI: 10.22364/mkm.58.5.08.
7. A. Shundo, S. Yamamoto, K. Tanaka JACS Au American Chemical society, **2**(7), 1522-1542 (2022). DOI: 10.1021/jacsau.2c00120.
8. X. Li, S. J. Park. A Review. J. Ind. Eng. Chem. **29**, 1-11 (2015). DOI: 10.1016/j.jiec.2015.03.026.
9. Ogura Ichiro. DIC Technical Review. **7**, 10-17 (2001).
10. Сафонов А.В., Дутова В.С., Готлиб Е.М., Рахматуллина А.П. Бутлеровские сообщения. **84**(11), 123-130 (2025). DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-11-123.

### References

1. Chursova L.V., Panina N.N., Grebeneva T.A., Kutergina I.YU. Epoksidnyye smoly, otverditeli, modifikatory i svyazuyushchiye na ikh osnove. – S.-Pb: TSOP Professiya, 2020. 576 s.
2. Irzhak V.I. Epoksidnyye polimery i kompozity s epoksidnoy matritsey. – M.: RAN, 2022. 288 s.
3. Fedoseyev M.S., Derzhavinskaya L.F., Kochergin A.V. Vestnik TvGU. Seriya: Khimiya. **1**, 94-103 (2018).
4. Prokopova L.A., Golovina Ye.YU. Trudy VIAM. **1**(73), 13-20 (2019). DOI: 10.18577/2307-6046-2019-0-1-13-20.
5. C. Liu, Y. He, M. Sun, X. Zhang, B. Zhang, X. Bai. Polymer. **288**, 126450 (2023). DOI: 10.1016/j.polymer.2023.126450.
6. Alikin M.B., Alekseeva K.D., Panfilov D.A., Dvorko I.M., Lavrov N.A. Mechanics of Composite Materials. **58**(5), 697-704 (2022). DOI: 10.22364/mkm.58.5.08.
7. A. Shundo, S. Yamamoto, K. Tanaka JACS Au American Chemical society, **2**(7), 1522-1542 (2022). DOI: 10.1021/jacsau.2c00120.
8. X. Li, S. J. Park. A Review. J. Ind. Eng. Chem. **29**, 1-11 (2015). DOI: 10.1016/j.jiec.2015.03.026.
9. Ogura Ichiro. DIC Technical Review. **7**, 10-17 (2001).
10. Safonov A.V., Dutova V.S., Gottlieb E.M., Rakhmatullina A.P. Butlerov's messages. **84**(11), 123-130 (2025). DOI: 10.37952/ROI-jbc-01/25-84-11-123.

© **Е. М. Готлиб** – д.т.н., проф. каф. Технологии синтетического каучука (ТСК), Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), Казань, Россия, egotlib@yandex.ru; **В. И. Дворкина** – ученица 8б класса гимназии № 75 г. Казани; **А. П. Рахматуллина** – д.т.н., проф. кафедры ТСК КНИТУ, rah-al@yandex.ru.

© **E. M. Gotlib** – Doctor of Sciences (Technical Sci.), Professor, Chair of Technologies of Synthetic Rubber (TSR), Kazan National Research Technological University (KNRTU), Kazan, Russia, egotlib@yandex.ru; **V. I. Dvorkina** – 8th grade student of Gymnasium No. 75 in Kazan; **A. P. Rakhmatullina** – Doctor of Sciences (Technical Sci.), Professor, Chair of the TSR department, KNRTU, rah-al@yandex.ru.

Дата поступления рукописи в редакцию – 22.01.26

Дата принятия рукописи в печать – 10.02.26