

# ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 621.311.243

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИМУЛЯТОРА PSCAD

**Васильев Степан Петрович**, научный сотрудник,  
**Шамис Михаил Александрович**, кандидат технических наук, генеральный директор;  
ЗАО «ЭнЛАБ», Чебоксары, Российская Федерация

***Аннотация:** Солнечная энергетика становится все популярнее. По данным аналитического центра по климатическим и энергетическим вопросам «Ember», объем солнечной генерации в мире вырос за год на 19%. Международное энергетическое агентство в отчете за 2020 год назвало солнечную генерацию самой дешевой электроэнергией в настоящее время. Прогнозируется дальнейшее ежегодное увеличение доли солнечной энергетика на мировом рынке. Среди современных задач развития энергетики России выделены: повышение надежности функционирования электроэнергетической системы, освоение труднодоступных и территориально удаленных районов, их энергообеспечение, переход к экологически чистой «безуглеродной» экономике, включение возобновляемых источников энергии в энергетический баланс. Статья посвящена моделированию солнечной электростанции в составе электроэнергетической системы на программном симуляторе PSCAD. По указанной теме в ЗАО «ЭнЛАБ» подготовлено учебное пособие для студентов и аспирантов.*

***Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии; декарбонизация; солнечная энергетика; моделирование переходных процессов; PSCAD; учебное пособие.*

## RESEARCH OF A SOLAR POWER PLANT FUNCTIONING USING PSCAD SIMULATOR

**Vasilev Stepan Petrovich**, Researcher,  
**Shamis Mikhail Aleksandrovich**, Candidate of Technical Sciences, General Director,  
EnLAB, Cheboksary, Russia

***Abstract:** Solar energy is becoming more and more popular. According to the analytical center for climate and energy issues Ember, the volume of solar generation in the world has grown by 19% over the year. In a 2020 report, the International Energy Agency named solar generation the cheapest electricity available today. A further annual increase in the share of solar energy in the global market is predicted. Among the modern tasks of the*

development of the energy sector in Russia, the following are highlighted: increasing the reliability of the functioning of the electric power system, the development of hard-to-reach and geographically remote areas, their power supply, the transition to an environmentally friendly "carbon-free" economy, the inclusion of renewable energy sources in the energy balance. The article is devoted to modeling a solar power plant as part of an electric power system using the PSCAD software simulator. On this topic, EnLAB has prepared the manual for bachelor, master and PhD students.

**Keywords:** renewables; decarbonisation; solar power; simulating transients; PSCAD; tutorial.

Для цитирования: Васильев, С. П. Исследование функционирования солнечной электростанции с применением симулятора PSCAD / С. П. Васильев, М. А. Шамис. – Текст : электронный // Наука без границ. – 2021. – № 7 (59). – С. 20-26. – URL: <https://nauka-bez-granic.ru/№-7-59-2021/7-59-2021/>

For citation: Vasilev S.P., Shamis M.A. Research of a solar power plant functioning using PSCAD simulator // Science without borders, 2021, no. 7 (59), pp. 20-26.

Декарбонизация – это одна из фундаментальных задач энергетики. Рис. 1 показывает тенденцию к постепенному отказу от ископаемого топлива в пользу возобновляемой и атомной энергетики. На совещании 31 мая 2021 года Российское Правительство утвер-

дило «дорожную» карту энергетики, в которой сделан упор на развитие труднодоступных регионов за счет альтернативной энергетики. Правительство также отметило, что немаловажна и задача подготовки специалистов в указанной отрасли [1].



Рисунок 1 – Состав генерирующих мощностей

Перспектива возобновляемой энергетики на территории России оправдывается достаточно высоким уровнем солнечной и ветровой активности. Наибольшим солнечным потенциалом отмечаются южные области европейской и сибирской частей России, Приморский край и Забайкалье. В настоящее время более 1,3 ГВт солнечных генерирующих мощностей в России запущено в промышленном масшта-

бе. Проект стратегии социально-экономического развития Арктической зоны Республики Саха (Якутия) до 2035 года предусматривает инициативы по внедрению в электроэнергетическую систему (ЭЭС) объектов на основе солнечной генерации. В настоящей статье изложен подход к моделированию солнечной электростанции (СЭС) в симуляторе Power System Computer-Aided Design (PSCAD).

### Симулятор PSCAD.

Программный симулятор PSCAD со встроенным модулем Electromagnetic Transients Including Direct Current (EMTDC) – это производительный и гибкий инструмент для моделирования переходных процессов в ЭЭС с удобным, интуитивно понятным пользовательским интерфейсом. посредством компонентов из пользовательской библиотеки PSCAD можно осуществить детальную симуляцию энергооборудования, также исследовать алгоритмы системы управления. В процессе моделирования пользователи имеют возможность управлять

режимными параметрами ЭЭС и наблюдать за реакцией модели, пользуясь отображаемой на экране информацией. Программа PSCAD широко применяется по всему миру промышленными, научными, образовательными организациями для проектирования, анализа функционирования, оптимизации и верификации различного электротехнического оборудования. В марте 2021 вышла новая версия PSCAD V5, позволяющая выполнять исследования быстрых переходных процессов в больших ЭЭС [2]. Пользовательский интерфейс симулятора представлен на рис. 2.

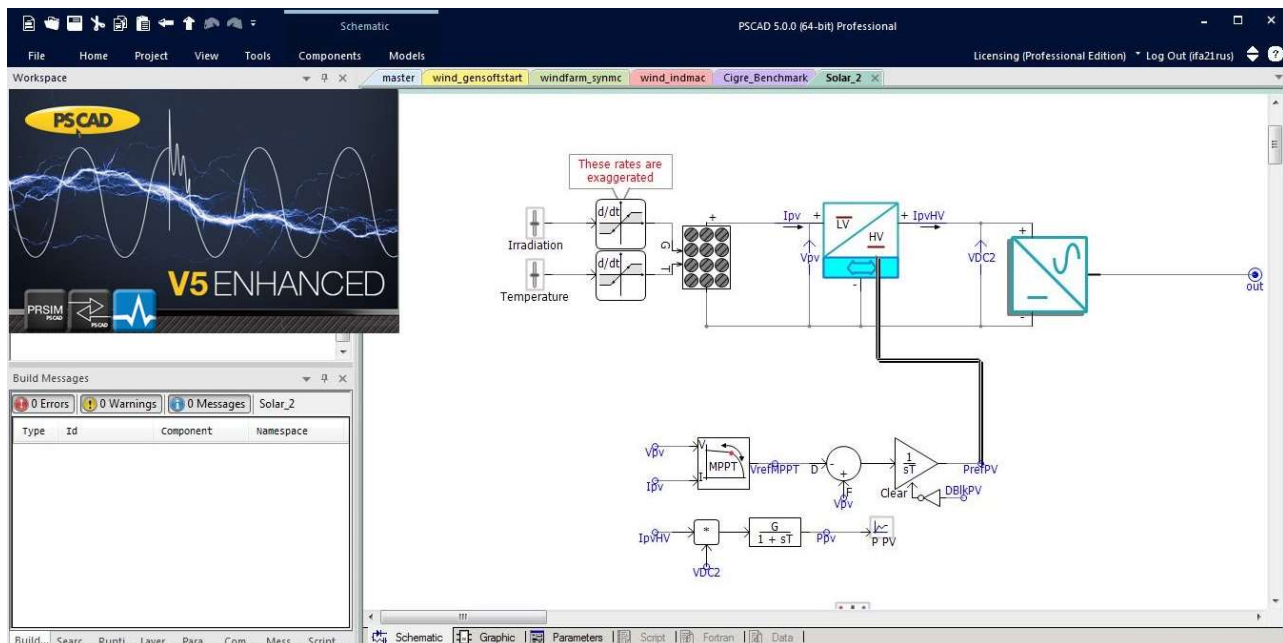


Рисунок 2 – Пользовательский интерфейс PSCAD V5

Наряду с прочим, PSCAD – это мощный инструмент для моделирования солнечной электростанции (СЭС) в составе ЭЭС. Командой разработчиков PSCAD наработан большой опыт решения задач, связанных с моделированием электрических сетей, содержащих СЭС.

### Моделирование СЭС.

Процесс моделирования СЭС в упомянутом учебном пособии [3]

разделен на четыре этапа [4], представленных на рис. 3. Первый этап посвящен выбору параметров СЭС. Для сведения, номинальная мощность моделируемой электростанции равна 0,138 МВт при напряжении 0,23 кВ.

Исследованы зависимости характеристик СЭС от инсоляции и температуры. Вольтамперная и ваттвольтная характеристики, представленные на

рис. 4, демонстрируют зависимости режимных параметров СЭС от температуры при постоянной инсоляции 1000 Вт/м<sup>2</sup>.

На втором этапе разрабатывается повышающий DC-DC преобразователь, который согласует выходное напряжение СЭС к требуемому диапазону 0,4 кВ. Логика управления преобразователем представлена на рис.

5. Управление транзистором повышающего преобразователя осуществляется посредством широтно-импульсной модуляции. Диапазон выходного напряжения формируется пропорционально-интегральным (ПИ) регулятором, на вход которого подается разность текущего напряжения  $V_{PV}$  и напряжения в точке максимальной мощности СЭС  $V_{MPPT}$ .

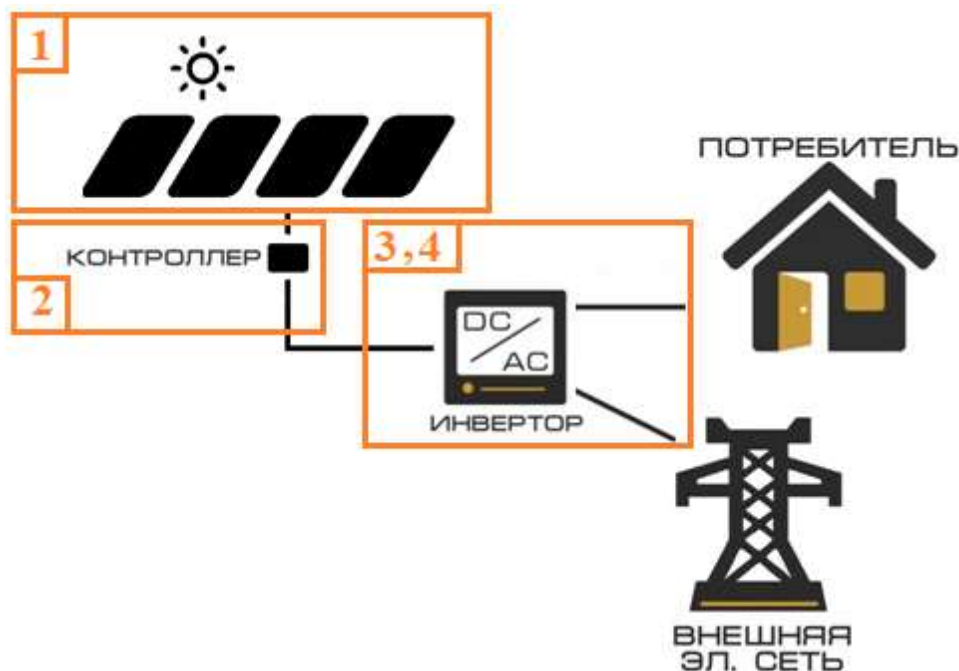


Рисунок 3 – Схема подключения СЭС к электрической сети

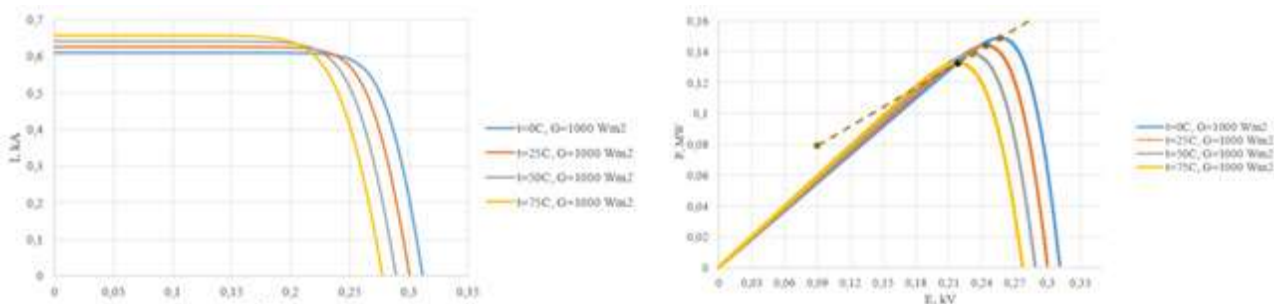


Рисунок 4 – Характеристики СЭС

На третьем этапе рассчитывается выходной LCL-фильтр, представленный на рис. 6. Фильтр подавляет высшие гармоники и выполняет функцию развязки внешней ЭЭС и инверторной системы. Демпфирующий резистор  $R_d$  повышает устойчивость при коле-

баниях частоты.

Конечным этапом разрабатывается инвертор. Регуляторы мощности инверторной системы представлены на рис. 7. В контуре управления активной мощностью разница между напряжением СЭС  $dcVltg$  и требуемой уставкой

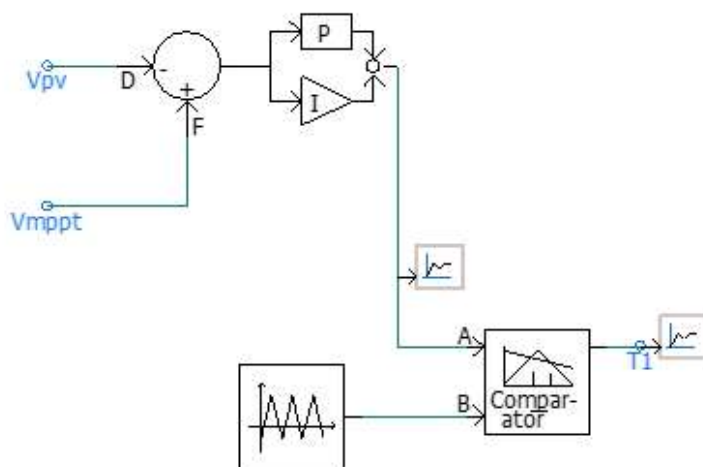
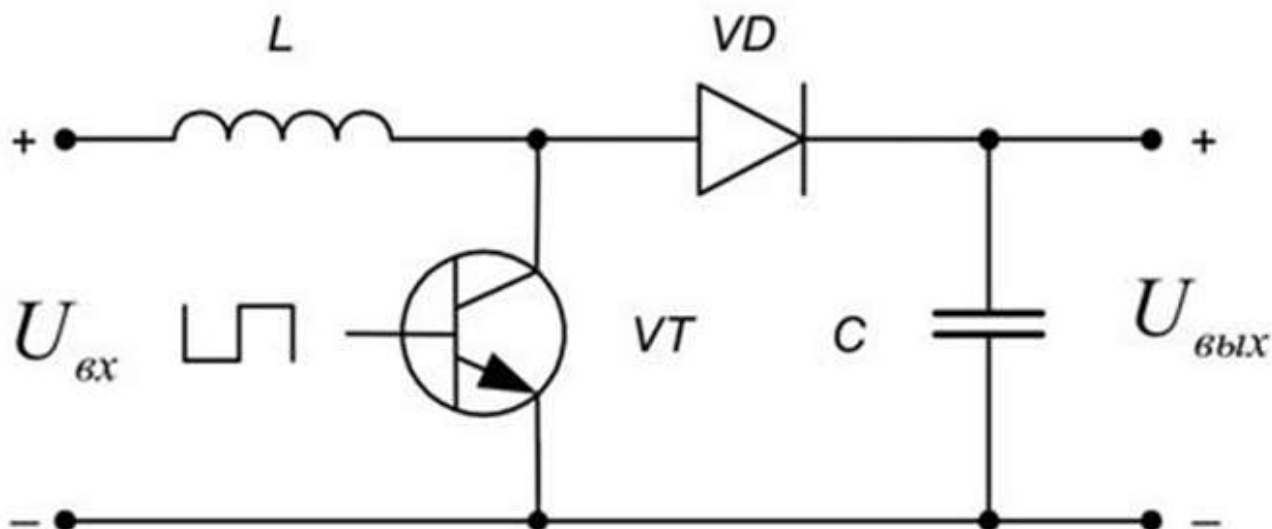


Рисунок 5 – DC/DC преобразователь

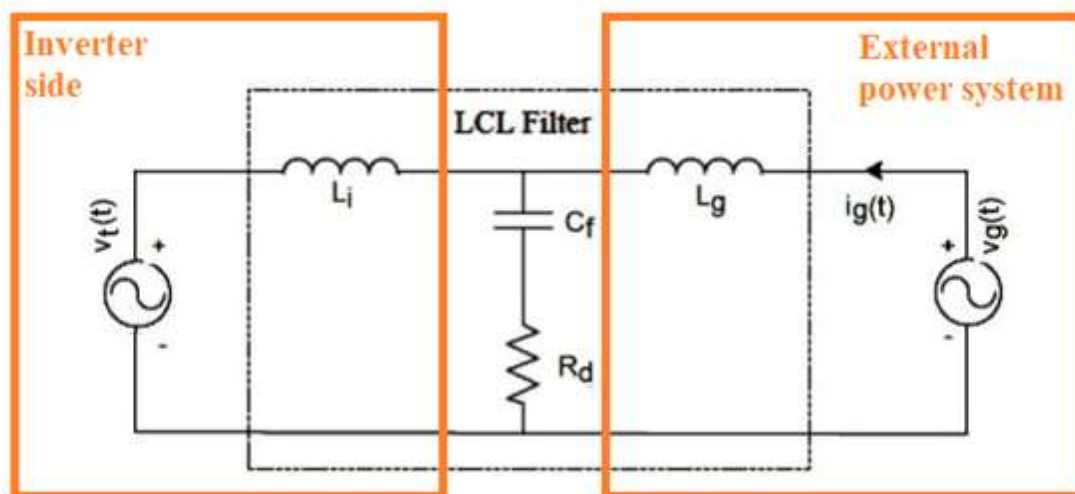
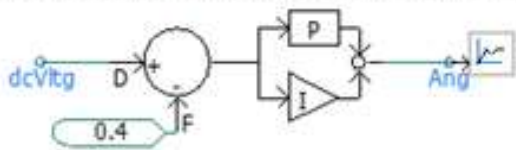


Рисунок 6 – Фильтр в системе

подается на ПИ-регулятор. Выходное значение фазы  $Ang$  будет использовано для формирования синусоидального сигнала широтно-импульсной модуляции (ШИМ). В контуре управления

реактивной мощностью разница между заданным значением и измерением  $Q$  подается на ПИ-регулятор. На выходе получается значение  $Mag$  – амплитуда синусоидального сигнала ШИМ.

Управление активной мощностью



Управление реактивной мощностью

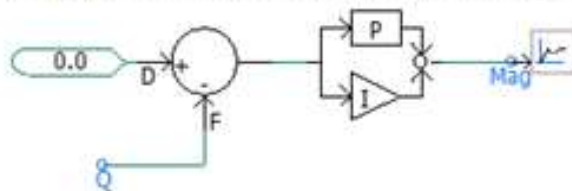
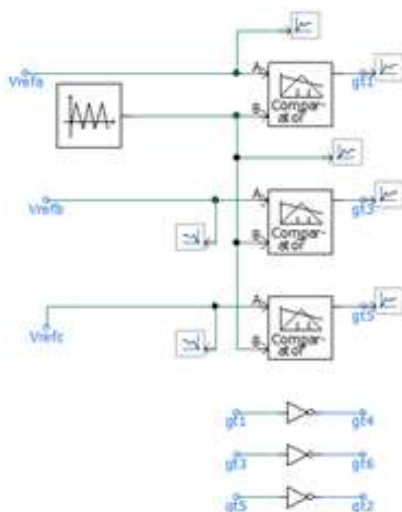


Рисунок 7 – Регуляторы активной и реактивной мощности

Управление инвертором осуществляется посредством синусоидальной ШИМ. Сигналы управления  $gt1-gt6$  на рис. 8 – это импульсы включения транзисторов. Транзисторы 1, 4 формируют напряжение фазы А; 3 и 6 – фазы В; 5 и 2 – фазы С. Эталонные синусоидальные сигналы  $V_{refa}, V_{refb}, V_{refc}$  с управляемыми значениями фазы ( $Ang$ ),

амплитуды ( $Mag$ ) и желаемой частотой сравниваются с высокочастотным треугольным сигналом. На этом же рисунке представлена таблица формирования импульсов включения транзисторов. Здесь  $V_{sin}$  – мгновенные значения синусоидальных сигналов,  $V_{tr}$  – мгновенные значения треугольного сигнала.



Gate	Half Sine Wave, +/-	Switching conditions		Phase
		$V_{sin} > V_{tr}$	$V_{sin} < V_{tr}$	
1	+	1	0	A
4	-	0	1	
3	+	1	0	B
6	-	0	1	
5	+	1	0	C
2	-	0	1	

Рисунок 8 – Синусоидальная ШИМ

**Заключение.**

Актуальность темы статьи выражается мировой тенденцией к интеграции нетрадиционных источников энергии в ЭЭС. Применение симулятора PSCAD позволяет наглядно, информативно и с высокой точностью исследовать сценарии функционирования СЭС. Симулятор может применяться в перспективных проектах энергетического развития регионов РФ.

Статья основана на учебном пособии, в котором сосредоточены основные идеи из результатов зарубежных

и российский научно-исследовательских работ, а также инженерно-практический опыт в области моделирования электроэнергосистем [5]. При изучении пособия обучающийся приобретает навык расчета оборудования и системы управления СЭС и знание этапов разработки модели. Изложенный метод исследования СЭС может быть полезен преподавателям, руководителям предприятий, специалистам по моделированию ЭЭС, работникам электроэнергетической сферы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оперативное совещание с вице-премьерами: сайт. – Правительство Российской Федерации, 2021. – URL: <http://government.ru/news/42349/> (дата обращения: 12.07.2021). – Текст: электронный.
2. Шамис, М. А. Обновление средств имитационного моделирования энергосистем / М. А. Шамис, Ф. А. Иванов. – Текст : непосредственный // ЭнергоStyle. – 2021. – № 1 (53). – С. 24-25.
3. Список методических указаний для выполнения лабораторных работ с использованием PSCAD: сайт. – ЗАО «ЭнЛАБ», 2021. – URL: <https://ennlab.ru/news/2251/> (дата обращения: 12.07.2021). – Текст: электронный.
4. Васильев, С. П. Исследование функционирования электростанции на базе солнечных батарей в составе электроэнергосистемы с применением программного комплекса PSCAD: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлениям 13.03.02 и 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» / С. П. Васильев. – Чебоксары: ЗАО «ЭнЛАБ», 2021. – 63 с. – Текст: непосредственный.
5. Васильев, С. П. Разработка интеллектуальной системы агрегированного управления нагрузкой потребителей в микрогрид-системах: специальность 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»: магистерская диссертация / Васильев Степан Петрович; Московский энергетический институт. – Москва, 2020. – 99 с. – Текст: непосредственный.

## REFERENCES

1. Operativnoe soveshchanie s vice-prem'erami [Operational Meeting with Deputy Prime Ministers]: website. The Government of the Russian Federation, 2021. Available at: <http://government.ru/news/42349/> (accessed 12 July 2021).
2. Shamis M.A. Obnovlenie sredstv imitacionnogo modelirovaniya energosistem [Updating of power systems simulation tools]. EnergoStyle, 2021, no. 1 (53), pp. 24-25.
3. Spisok metodicheskikh ukazaniy dlya vypolneniya laboratornykh работ s ispol'zovaniem PSCAD [List of manuals for laboratory work using PSCAD]. EnLAB, 2021. Available at: <https://ennlab.ru/news/2251/> (accessed 12 July 2021).
4. Vasilev S.P. Issledovanie funkcionirovaniya elektrostancii na baze solnechnykh batarej v sostave elektroenergosisistemy s primeneniem programmnoho kompleksa PSCAD [Research of the Functioning of a Power Plant Based on Solar Batteries as Part of an Electric Power System Using the PSCAD Software Package]. Manual for students. Cheboksary, 2021, 63 p.
5. Vasilev S.P. Razrabotka intellektual'noj sistemy agregirovannogo upravleniya nagruzkoj potrebitel'ej v mikrogrid-sistemah [Development of an Intelligent System for Aggregated consumers' load management in microgrids]. Master's thesis. Moscow, 2020. 99 p.

Материал поступил в редакцию 12.07.2021

© Васильев С.П., 2021